НАВСТРЕЧУ III СЪЕЗДУ ИНЖЕНЕРОВ РОССИИ

INTERNATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING
RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING

МЕЖДУНАРОДНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ
РОССИЙСКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ

XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC FORUM «AIMS FOR FUTURE OF ENGINEERING SCIENCE»

COLLECTION OF ARTICLES

XIV МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНОЙ НАУКИ»

СБОРНИК СТАТЕЙ

Москва
ООО «Инженерный центр «Импульс»
РГУ им. А.Н. Косыгина
17 мая 2023 года

ББК 30
УДК 62

Сборник статей XIV Международного научного форума «Перспективные задачи инженерной науки» (Россия, Москва, 17 мая 2023 года). Международная инженерная академия. М: ООО «Инженерный центр «Импульс», РГУ им. А.Н. Косыгина, 2023. – 462 с.

ISBN: 978-5-00181-405-4

В сборник статей XIV Международного научного форума «Перспективные задачи инженерной науки» включены доклады президентов национальных инженерных академий, руководители отделений и представительств, членов академии, представляющие следующие структуры Международной инженерной академии: Азербайджанская инженерная академия, Инженерная академия Армении, Национальная инженерная академия Республики Казахстан, Инженерная академия Кыргызской Республики, Инженерная академия Республики Таджикистан, Инженерная Федерация Узбекистана, Российская инженерная академия, Представительство МИА в Республике Беларусь.

Участниками форума в 2023 году стали представители более 100 организаций (академий, университетов, институтов, ассоциаций, предприятий и т.д.) из 8 стран и 22 регионов Российской Федерации.

Материалы сборника статей предназначены для преподавателей и аспирантов вузов; руководителей, научно-технических и инженерно-технических работников различных отраслей промышленности и агропромышленного комплекса.

В подготовке сборника статей активное участие приняли Гусев Б.В., Бакшеев Д.С., Иванов Л.А., Климова Ю.А., Николаева Н.А., Разумеев К.Э., Спирина Т.Ю., Фаликман В.Р., Федорова Н.Е., Чередниченко Н.Д.

© Международная инженерная академия, 2023
© Российская инженерная академия, 2023
© Авторы статей, 2023

НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ
XIV МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНОГО ФОРУМА
«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНОЙ НАУКИ»
(Россия, Москва, 17 мая 2023 года)

Председатель научного комитета:
Гусев Борис Владимирович – Президент Международной и Российской инженерных академий

Заместители председателя научного комитета:
Иванов Леонид Алексеевич – Главный ученый секретарь и вице-президент Международной и Российской инженерных академий
Разумеев Константин Эдуардович – Вице-президент Международной инженерной академии, Вице-президент Российской инженерной академии

Члены научного комитета:
Бакшеев Дмитрий Семёнович – Вице-президент Российской инженерной академии
Белгородский Валерий Савельевич – ректор Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство.)
Болдырев Игорь Анатольевич – Руководитель Новосибирского регионального отделения Российской инженерной академии
Гашо Евгений Геннадьевич – академик-секретарь секции «Энергетика» Российской инженерной академии
Джанахмедов Ахад Ханахмед оглы – Вице-президент Азербайджанской инженерной академии
Жумагулов Бакытжан Турсынович – Первый вице-президент Международной инженерной академии, Президент Национальной инженерной академии Республики Казахстан
Кабулов Анвар Василович – Президент Инженерной Федерации Узбекистана
Кальгин Александр Анатольевич – Вице-президент Международной инженерной академии, заместитель Президента Российской инженерной академии
Каталинич Бранко – руководитель Центрально-Европейского отделения Международной инженерной академии
Кожогулов Камчыбек Чонмурунович – Вице-президент Международной инженерной академии, Президент Инженерной академии Кыргызской Республики

Кустарев Геннадий Владимирович – Вице-президент Российской инженерной академии, академик-секретарь секции «Машиностроение (автомобильное, тракторное, строительное и дорожное)» Российской инженерной академии
Минасян Сергей Ашотович – Вице-президент Международной инженерной академии, Президент Инженерной академии Армении
Нагрузова Любовь Петровна – Руководитель Хакасского регионального отделения Российской инженерной академии
Никулин Валерий Александрович – Вице-президент Российской инженерной академии, руководитель Удмуртского регионального отделения Российской инженерной академии
Пашаев Ариф Мир Джалал оглы – Вице-президент Международной инженерной академии, Президент Азербайджанской инженерной академии
Прангишвили Арчил Иериевич – Первый вице-президент Международной инженерной академии, Президент Инженерной академии Грузии
Саидмуродов Лютфилло Хабибуллоевич – Вице-президент Международной инженерной академии, Президент Инженерной академии Республики Таджикистан
Саурин Василий Васильевич – академик-секретарь секции «Инженерная механика» Российской инженерной академии
Силаков Алексей Викторович – проректор по научной работе Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство.)
Танин Леонид Викторович – Руководитель Представительства Международной инженерной академии в Республике Беларусь
Фаликман Вячеслав Рувимович – Уполномоченный представитель Международного союза экспертов и лабораторий РИЛЕМ в странах Восточной Европы и Средней Азии
Эмри Игорь – Руководитель отделения Международной инженерной академии в Словении
Яновский Леонид Самойлович – академик-секретарь секции «Авиакосмическая» Российской инженерной академии

Ответственный секретарь научного комитета:
Чередниченко Надежда Дмитриевна – Российская инженерная академия

СОДЕРЖАНИЕ

Гусев Б.В., Иванов Л.А.
XIV Международный Научный Форум «Перспективные задачи инженерной науки»..... 10
Пашаев А.
Интеллектуальный потенциал инженерных кадров как стратегический ресурс Азербайджана..... 24
Минасян С.А., Аракелян А.С., Геворгян А.А., Барсегян Р.Н.
Анализ перспектив устойчивого развития энергетики в мире..... 32
Танин Л.В., Горчарук А.И., Мельникова Е.А., Толстик А.Л.
Использование винтовой фазовой дислокации волнового фронта для записи нового вида скрытого изображения..... 39
Добреньков В.И., Айтимов А.С., Афонин Ю.А.
Новые возможности развития Казахстана в условиях четвёртой промышленной революции..... 45
Джаманбаев М.Д., Душенова У.Д., Кыштобаева Г.К.
Аналитико-численное решение задачи протаивание мерзлого грунта с учетом теплообмена и изменения начального условия..... 53
Каримов Ф.Х., Абдусаматов М.А., Саидмуродов Л.Х., Латифзода Р.Б.
Инженерные решения в снижении геоэкологического риска пульсаций ледника Медвежий в Таджикистане..... 59
Норматов И.Х., Каландаров И.И.
Модели и алгоритмы управления и планирования производственными системами..... 66
Гусев Б.В., Саурин В.В.
Идеи двойственности в математическом моделировании..... 77
Шрейбер А.К., Абрамов И.Л.
Устойчивость производственной системы в вероятностных условиях строительного производства..... 85
Болдырев И.А., Бакшеев Д.С., Свириденко Д.И., Федин К.В., Рофе А.Р., Гриценко А.А.
Диагностика состояния устойчивости жилого дома волновым методом..... 90
Джанахмедов А.Х., Джавадов М.Я.
Энергетические уровни трибоконтактов и оценка трибологических свойств материалов..... 96
Кустарёв Г.В., Данилов Р.Г., Андрюхов Н.М.
Развитие наземной транспортно-технологической техники на настоящем этапе..... 105

Будадин О.Н., Абрамова Е.В., Козельская С.О., Федотов М.Ю.
Современная технология теплового контроля теплозащитных параметров ограждающих конструкций зданий и сооружений в условиях их эксплуатации 116
Федотов А.И., Лисин С.К.
О спектрах нелинейных режимов виброакустических систем 123
Тарасов Г.А., Новаковский Д.В., Молоканов А.А., Плишкин Н.А, Яновский Л.С.
Особенности проектирования газификаторов для переработки муниципальных отходов..... 130
Фаликман В.Р.
На пути к устойчивому строительству..... 136
Саурин В.В.
О математическом моделировании в теории стержней..... 151
Назаров У.С., Абдурахимов М.А.
Системные вопросы увеличения объемов хранения в подземных газохранилищах Узбекистана..... 157
Карандеев Д.Ю., Нагрузова Л.П., Карандеева И.Ю.
Возможности применения теории информации при сопоставлении плановых и фактических распределений идентичных показателей ... 165
Горбачев С.В., Кузин В.Ф.
Конечно-разностный метод численного моделирования геологической поверхности в ИКС «ИНФОРМГЕО»..... 171
Иноземцев С.С., Королев Е.В., До Тоан Чонг
Прочность связей AR-полимера при самовосстановлении асфальтобетона 176
Федоров В.Т., Кокоев М.Н.
Морские месторождения редких металлов и производство электромобилей..... 181
Медведев А.В., Разумеев К.Э.
Анализ требований, предъявляемых в технических заданиях на разработку керамических текстильных материалов..... 195
Полатов А.М.
Концентрация напряжений в волокнистой пластине с упрочняющими отверстиями..... 202
Чередниченко Н.Д., Семенов А.А., Беликов А.Е., Белоусова Е.А., Овчинников Л.А.
Подходы к классификации объектов и процессов строительного производства 208

Гашо Е.Г., Фокин А.М.
Моделирование систем централизованного теплоснабжения зданий 215
Айвазян Г.Е., Барсегян Р.Н.
Оптические характеристики черного кремния 220
Наумов В.А.
Проблемы применения высокого давления для обработки пищевых продуктов: краткий обзор 225
Трифонов Н.Ю.
Оценка стоимости как неотъемлемое сопровождение инженерной науки 233
Косач А.Ф., Кузнецова И.Н., Евдокимова Н.А., Курбанова Р.Б.
Особенности процесса структурообразования прочного цементного камня 237
Юнусов М.М., Хочиён М.К., Ходжиев С.К.
Исследование сорбции урана из шахтной воды месторождения Киик-Тал в статических условиях 241
Богомолов О.В., Кузин В.Ф., Малышев А.А.
Промышленные парогенераторы ИНТЕРБЛОК и инновационные разработки на их основе 248
Терашкевич Д.И., Бокова Е.С., Коваленко Г.М.
Получение полировальных материалов методом твердотельного вспенивания для применения в процессе химико-механической планаризации 254
Хакимов М.Х.
Модели и алгоритмы многоязыкового компьютерного переводчика 261
Александров И.С., Григорьев Б.А., Беркова Е.А., Герасимов А.А.
Применение молекулярного моделирования для обеспечения баз данных о термодинамических свойствах технически важных веществ 271
Романова Ю.С., Бокова Е.С., Евсюкова Н.В., Филатов И.Ю., Смульская М.А.
Модификация нетканых сепарационных материалов для щелочных аккумуляторов 277
Ивахник В.Г.
Инновации модификации физикомеханических свойств материалов, веществ и жидкостей 285

Федотов М.Ю., Шмойлов Е.Е., Козельская С.О.
Создание комплексной системы армирования строительных конструкций углекомпозитными полимерными материалами с диагностикой их качества и оценкой ресурса 292
Гришина А.Н., Королев Е.В.
Биоцидные композиционные вяжущие с использованием модификаторов на основе гидросиликатов металлов 299
Кузин В.Ф., Лачинина Т.А., Чистяков М.С.
К вопросу о командной работе в цифровых реалиях экосистемы бизнес – процессов «Индустрии 4.0» 304
Утеулиев Н.У., Джайков Г.М.
Регуляризация задачи интегральной геометрии на семействе полуокружностей 310
Такташев Р.Е., Татарникова Н.А., Варигина В.А.
О выбросах водяного пара в атмосферу г. Москвы 316
Кадиров С.М., Кадирова О.С.
Повышение ресурса мобильных машин в условиях высокой запыленности воздуха 321
Орлов А.А., Будадин О.Н., Козельская С.О., Федотов М.Ю.
Распознавание образов и классификация дефектов, выявляемых при тепловом автоматизированном контроле металлических изделий сложной формы и внутренней структуры 328
Дергунова А.В.
Перспективы развития солнечной энергетики 335
Нагрузова Л.П., Юданова А.О., Калистратов А.А.
Влияние химического модифицирования на реологические и фильтрационные свойства бентонитовых глин Хакасии 341
Давыдов В.М., Беркун В.О.
Влияние выбора стратегии обработки на качество поверхности при фрезеровании сложнопрофильных деталей 347
Черных А.П., Михаленко В.А.
Внедрение газотурбинных технологий в цифровые проекты России путём энергоснабжения центров обработки данных (ЦОД) и майнинговых ферм 352
Борисенко М.С., Решетникова К.В., Ращупкина М.А.
Эффективность применения циклического вибрирования при изготовлении мелкозернистого бетона 363
Шматков С.Б.
Расчет и проектирование промышленных железобетонных дымовых труб 369

Гусев Б.В., Мачалаба Н.Н., Козинда З.Ю., Слугин И.В.
О разработке технологии и организации промышленного производства термо-, огнестойких мета-армидных волокон и нитей в России 375
Гашо Е.Г.
Развитие российской энергетики в условиях «энергоперехода» – методология, цели и задачи 384
Кодиров С.М., Дадабоев Р.М.
Повышение динамического показателя автомобиля Chevrolet Spark путём использования бензо-водородной смеси 390
Федорова Н.Е., Разумеев К.Э., Разумеев Н.Н.
Моделирование технологических параметров при разработке декоративных нетканых полотен 399
Челноков В.В., Тихомиров С.Г., Карманова О.В.
Получение функциональных добавок к эластомерам на основе сопутствующих продуктов производства растительного масла 404
Панич А.А., Малыхин А.Ю., Дыкина Л.А.
Влияние архитектуры пьезокерамического композита связности 1-3 на резонансные характеристики 412
Опарина Л.А.
Метод оценки жизненного цикла как основа расчёта углеродного следа зданий 418
Хусаинова Г.Р., Галиханов М.Ф.
Апробация программы повышения квалификации «Развитие креативности преподавателя инженерного вуза» 423
Бунина Н.А., Ремшев Е.Ю., Олехвер А.И.
Модель прогнозирования релаксационной стойкости материалов методом акустической эмиссии 430
Гусева А.Ю., Кулиш С.В.
Перспективы исследования токопроводящих бетонов 438
Сафин Р.Р., Погодина Я.Д., Илалова Г.Ф.
Экологические выгоды и проблемы при использовании древесины 442
Максимов А.С., Саурин В.В.
Эффект упругой задней кромки консоли в дозвуковом потоке 448
Ольховатов Е.А., Касьянов Г.И.
Кластер-анализ антинутриентов растительного сырья для реализации интегративного подхода к их инактивации 453
Гусева А.Ю.
О взаимодействии цементных композитов с агрессивной средой 457

УДК 62

XIV МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНОЙ НАУКИ» XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC FORUM «AIMS FOR FUTURE OF ENGINEERING SCIENCE»

Борис Владимирович Гусев[1,2], Леонид Алексеевич Иванов[1,2]
Boris Vladimirovich Gusev[1,2], Leonid Alekseevich Ivanov[1,2]

[1]Международная инженерная академия
[1]International Academy of Engineering
(e-mail: info-rae@mail.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: Международная и Российская инженерные академии выступали и выступают активными организаторами крупных международных и всероссийских научных форумов, конференций, конгрессов, симпозиумов и других важнейших мероприятий. В частности, организацией и проведением Международного научного форума «Перспективные задачи инженерной науки». Представлена информация о проведении форума в разные годы, а также сведения об участниках форума в 2023 году.

Abstract: The International and Russian Academies of Engineering have been organizing major international and all-Russian forums, conferences, congresses, symposiums and other important events. In particular, there have been organized and held the International Scientific Forum «Aims for Future of Engineering Science». The information on the forum throughout the years, as well as the information on the participants of the forum in 2023 is provided.

Ключевые слова: перспективные задачи инженерной науки, Международная инженерная академия, Российская инженерная академия.

Keywords: aims for future of engineering science, International Academy of Engineering, Russian Academy of Engineering.

Международная и Российская инженерные академии выступали и выступают активными организаторами крупных международных и всероссийских научных форумов, конференций, конгрессов, симпозиу-

мов и других важнейших мероприятий. Среди них: «Перспективные задачи инженерной науки», «Косыгинский форум», «Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов», «Малая и нетрадиционная энергетика, энергоэффективность», «Бетон и железобетон - взгляд в будущее», I и II Съезды инженеров России и субъектов Российской Федерации, «Резервы ускорения экономического роста и удвоения ВВП», «Использование космоса в мирных целях», «Изделия и технологии двойного назначения» и многие другие.

У каждого мероприятия есть своя история. Например, Международный научный форум «Перспективные задачи инженерной науки» проводился в разные годы в разных странах: XIII Международная конференция «Перспективные задачи инженерной науки» (Москва, Россия, 2021 год); XII Международный научный форум «Перспективные задачи инженерной науки» (Барселона, Испания, 2013 год); XI Международный научный форум «Перспективные задачи инженерной науки» (Герцег-Нови, Черногория, 2012 год); X Международный научный форум «Перспективные задачи инженерной науки» (о. Мадейра, Португалия, 2011 год); IX Международный научный форум «Перспективные задачи инженерной науки» (о. Искья, Форио, Италия, 2009 год); VIII Международный научный форум «Перспективные задачи инженерной науки» (Коста-Дорада, Испания, 2008 год); VII Международный научный форум «Перспективные задачи инженерной науки» (Халкидики, Кассандра, Греция, 2007 год); VI Международный научный форум «Перспективные задачи инженерной науки» (Гонконг, 2005 год); V Международный научный форум «Перспективные задачи инженерной науки» (Париж, Франция, 2004 год); IV Международный научный форум «Перспективные задачи инженерной науки» (Игало, Черногория, 2003 год) и т.д.

В Международном научном форуме «Перспективные задачи инженерной науки» принимали и принимают участие:

– президенты национальных инженерных академий, руководители отделений и представительств, члены Международной инженерной академии, представляющие следующие структуры МИА:

- Азербайджанская инженерная академия;
- Инженерная академия Армении;
- Инженерная академия Грузии;
- Инженерная академия Кыргызской Республики;
- Инженерная академия Республики Таджикистан;
- Инженерная академия Украины;
- Инженерная Федерация Узбекистана;

- Национальная инженерная академия Республики Казахстан;
- Российская инженерная академия;
- Отделение МИА в Словении;
- Отделение МИА на Тайване;
- Центрально-Европейское Отделение МИА;
- Представительство МИА в Республике Беларусь;

представители других стран;

– члены Российской инженерной академии, представляющие структуры Российской инженерной академии:

секции РИА: «Авиакосмическая», «Водное хозяйство и гидротехника», «Военно-технические проблемы», «Геология, добыча и переработка полезных ископаемых», «Инженерная механика», «Инженерная экология и ресурсосбережение», «Инженерные проблемы стабильности и конверсии». «Информационная безопасность», «Информатика и радиоэлектроника», «Коммуникации», «Лесотехнические технологии», «Материаловедение и технология», «Машиностроение (автомобильное, тракторное, строительное и дорожное)», «Машиностроение (тяжелое, энергетическое, транспортное и др.)», «Металлургия», «Нефтегазовые технологии», «Новые технологические уклады», «Проблемы инженерного образования», «Промышленный инженерный дизайн», «Процессы, аппараты и новые технологии в пчеловодстве», «Сварка и родственные технологии», «Системы управления, диагностика, приборостроение», «Строительство», «Судостроение», «Технология легкой промышленности», «Технология пищевой промышленности», «Турбостроение», «Химические технологии», «Химия и химические технологии», «Экономика, право и управление в инженерной деятельности», «Энергетика, в т.ч. ядерная» и др.;

региональные отделения РИА: Башкортостанское отделение, Брянское отделение, Воронежское отделение, Дагестанское отделение, Дальневосточное отделение, Иркутское отделение, Кабардино-Балкарское отделение, Калининградское отделение, Калужское отделение, Кемеровское (Кузбасское), Красноярское отделение (Сибирское), Крымское отделение, Кубанское отделение, Липецкое отделение, Мордовское отделение, Московское областное отделение, Новосибирское отделение, Омское отделение, Оренбургское отделение, Пермское отделение, Псковское отделение, Ростовское отделение, Рязанское отделение, Самарское отделение (Поволжское), Санкт-Петербургское отделение, Тамбовское отделение, Татарское отделение (Казанское), Тверское отделение, Тольяттинское отделение, Томское отделение, Удмуртское отделение, Уральское отделение, Хакасское отделение, Ханты-Мансийское отделение, Якутское отделение, Ярославское отделение и др.

Среди участников форума:

- руководители производства, руководители организаций, руководящий инженерно-технический состав;
- организаторы профессионального образования;
- профессорско-преподавательский состав (профессора, доценты, научные сотрудники);
- награждены орденами и медалями, имеют почетные звания – более 90% участников;
- имеют ученую степень (доктор наук, кандидат наук) и (или) ученое звание (профессор, доцент, старший научный сотрудник) порядка 85% от количества участников.

Приведенные сведения говорят о большом научном и творческом потенциале участников форума. Фотографии участников форума предтавлены на рис. 1, 2, 3.

Рис. 1. VIII Международный научный форум «Перспективные задачи инженерной науки» (Коста-Дорада, Испания, 2008 год)

Рис. 2. IX Международный научный форум «Перспективные задачи инженерной науки» (о. Искья, Форио, Италия, 2009 год)

Рис. 3. XI Международный научный форум «Перспективные задачи инженерной науки» (Герцег-Нови, Черногория, 2012 год)

Следует отметить, что доклады участников форума по широкому спектру направлений инженерной деятельности представляют интерес для инженеров, ученых и специалистов. Например, в ходе XIII Международной конференции «Перспективные задачи инженерной науки» (Москва, Россия, 2021 год) были представлены доклады:

- Гусев Б.В. «История становления Международной инженерной академии»;
- Пашаев А.М. «Приоритеты Азербайджана: энергетические проекты и наращивание наукоемких отраслей»;
- Минасян С.А. «Инновационное и устойчивое развитие как главная миссия инженерной деятельности»;
- Джавахадзе Г.С., Горгидзе Д.А. «Инженерная академия Грузии»;
- Жумагулов Б.Т. «Академия на новом рубеже»;
- Кожогулов К.Ч. «Деятельность инженерной академии Кыргызской Республики»;
- Гусев Б.В., Иванов Л.А. «О Российской инженерной академии»;
- Саидмуродов Л.Х. «Инженерная академия Республики Таджикистан: история и перспективы развития»;
- Прангишвили А.И., Намичейшвили О.М. «Искусственные нейронные сети для предсказания вспышек тяжёлого острого респираторного синдрома»;
- Самуэль Йен-Лян Инь «Новые тенденции в технологическом развитии строительной индустрии Тайваня»;
- Кабулов А.В., Утеулиев Н.У., Норматов И.Х. «Моделирование задачи межгосударственного водопользования и алгоритм её решения»;
- Танин Л.В. «Цифровая маркировка товаров и проблемы, связанные с ее внедрением на территории стран ЕАЭС»;
- Emri, B. von Bernstorff, R. Simonyants, and B. V. Gussev «Новое поколение полимерной защиты от вибрации и ударных воздействий, созданной на основе технологии высокого давления»;
- и другие.

По итогам форума опубликованы сборники трудов (статей) (рис. 4).

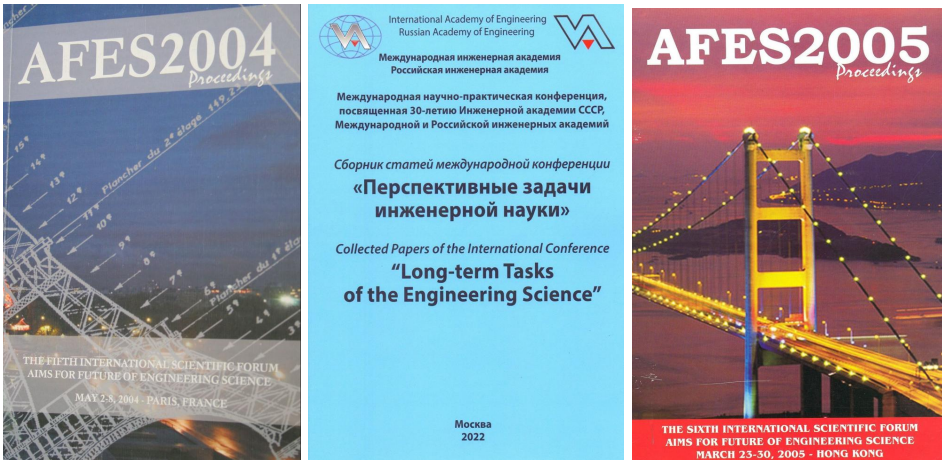


Рис. 4. Сборники трудов (статей) Международного научного форума «Перспективные задачи инженерной науки».

Отрадно отметить, что в Международном научном форуме «Перспективные задачи инженерной науки» традиционно принимают участие представители академий, университетов, институтов, ассоциаций, предприятий, учреждений и т.д. Например, в 2023 году участниками форума стали представили более 100 организаций из 8 стран и 22 регионов Российской Федерации, среди них:

- Азербайджанская инженерная академия (Азербайджан, Баку);
- Азербайджанская Национальная академия авиации (АНАА) (Азербайджан, Баку);
- Андижанский машиностроительный институт (Узбекистан, Андижан);
- АО «O'ZLITINEFTGAZ» (Узбекистан, Ташкент);
- АО «НПО Стеклопластик» филиал НПК «Терм» (Россия, Москва);
- АО «Препрег – Современные Композиционные Материалы» (АО «Препрег – СКМ) (Россия, Москва);
- АО 31-й Государственный проектный институт специального строительства (Россия, Москва);
- АО Монолитное Строительное Управление-1 (Россия, Москва);
- АО Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения (АО «ЦНИИСМ») (Россия, Хотьково);
- Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (Россия, Санкт-Петербург);
- Белорусский Государственный университет (Беларусь, Минск);

– Воронежский государственный университет инженерных технологий (ВГУИТ) (Россия, Воронеж);
– Горно-металлургический институт Таджикистана (ГМИТ) (Таджикистан, Бустон);
– Горно-металлургический институт Таджикистана (ГМИТ) (Таджикистан, Худжанд);
– ЗАО Голографическая индустрия (Беларусь, Минск);
– Ивановский государственный политехнический университет (Россия, Иваново);
– Инженерная академия Армении (Армения, Ереван);
– Инженерная академия Кыргызской Республики (Кыргызская Республика, Бишкек);
– Инженерная академия Республики Таджикистан (Таджикистан, Душанбе);
– Инженерная Федерация Узбекистана (Узбекистан, Ташкент);
– Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН) (Россия, Новосибирск);
– Институт водных проблем энергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана (Таджикистан, Душанбе);
– Институт высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета (Россия, Ростов-на-Дону);
– Институт науки и технологий (НИТУ МИСИС), Горный институт (Россия, Москва);
– Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (ИПМех РАН) (Россия, Москва);
– Институт экономики и демографии Национальной академии наук Таджикистана (Таджикистан, Душанбе);
– Кабардино-Балкарский госуниверситет им. Х.М. Бербекова (Россия, Нальчик);
– Кабардино-Балкарское региональное отделение РИА (Россия, Нальчик);
– Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ) (Россия, Казань);
– Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем (Республика Казахстан, Уральск);
– Калининградский государственный технический университет (КГТУ) (Россия, Калининград);

– Калининградское региональное отделение РИА (Россия, Калининград);
– Комитет по вопросам аграрных, земельных и водных ресурсов Парламента Республики Таджикистан (Таджикистан, Душанбе);
– Концерн Наноиндустрия (Россия, Нальчик);
– Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (Россия, Краснодар);
– Кубанский государственный технологический университет (Россия, Краснодар);
– Кубанское региональное отделение Российской инженерной академии (Россия, Краснодар);
– Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова (КГТУ) (Кыргызская Республика, Бишкек);
– Международная инженерная академия (Россия, Москва);
– Мордовское региональное отделение РИА (Россия, Саранск);
– Московский авиационный институт (МАИ) (Россия, Москва);
– Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ) (Россия, Москва);
– Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ) (Россия, Москва);
– Навоийский государственный горный институт (Узбекистан, Навои);
– Научно-исследовательский центр «Строительство» (Россия, Москва);
– Национальная инженерная академия Республики Казахстан (Республика Казахстан, Алматы);
– Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Россия, Саранск);
– Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ) (Россия, Москва);
– Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ») (Россия, Москва);
– Национальный политехнический университет Армении (НПУА) (Армения, Ереван);
– Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека (НУУз) (Узбекистан, Ташкент);
– Новосибирское региональное отделение РИА (Россия, Новосибирск);

- Нукусский филиал Ташкентского университета информационных технологий им. Мухаммада ал-Хоразми (НФ ТУИТ) (Узбекистан, Нукус);
- ОАО AzerAluminium (Азербайджан, Баку);
- ОАО Всероссийский дважды ордена трудового красного знамени теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО «ВТИ») (Россия, Москва);
- ООО «Альфасейсмика» (Россия, Новосибирск);
- ООО «Арамид» (Россия, Каменск – Шахтинский);
- ООО «Бентонит Хакасии» (Россия, Черногорск);
- ООО ИК «ИНТЕРБЛОК» (Россия, Москва);
- ООО Инженерный центр «Импульс» (Россия, Москва);
- ООО НПП «Газэлектроприбор» (Россия, Москва);
- ООО «Спецвысотстройпроект» (Россия, Челябинск);
- ООО «Технологии электроформования» (Россия, Москва);
- ООО ЦНТ «НаноСтроительство» (Россия, Королёв);
- ПАО Авиационный комплекс им. С.В. Ильюшина (Россия, Москва);
- ПАО «Газпром» (Россия);
- Представительство Международной инженерной академии в Республике Беларусь (Беларусь, Минск);
- Проектно-изыскательский институт электрификации железных дорог и энергетических установок «Трансэлектропроект» (Россия, Москва);
- Российская академия наук (Россия, Москва);
- Российская инженерная академия (Россия, Москва);
- Российский государственный политехнический университет им. Петра Великого (Россия, Санкт-Петербург);
- Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство.) (РГУ им. А.Н. Косыгина) (Россия, Москва);
- Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (Россия, Москва);
- Российский университет кооперации (РУК) (Россия, Владимир);
- Российский университет транспорта (РУТ МИИТ) (Россия, Москва);
- Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева (РХТУ) (Россия, Москва);
- Ростовское региональное отделение РИА (Россия, Ростов-на-Дону);

- Санкт-Петербургская инженерная академия (Россия, Санкт-Петербург);
- Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ) (Россия, Санкт-Петербург);
- Санкт-Петербургское отделение РИА (Россия, Санкт-Петербург);
- Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ) (Россия, Омск);
- Совет объединений оценщиков Евразии (СОО Евразии) (Беларусь, Минск);
- Таджикский национальный университет (Таджикистан, Душанбе);
- Тамбовский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «ТГТУ») (Россия, Тамбов);
- Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТрУ) (Узбекистан, Ташкент);
- Тверское региональное отделение РИА (Россия, Тверь);
- Тихоокеанский государственный университет (Россия, Хабаровск);
- ФГАУ «Научно-учебный центр «Сварка и контроль» при МГТУ им Н.Э. Баумана (Россия, Москва);
- Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске (Россия, Смоленск);
- ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН (Россия, Москва);
- ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН (Россия, Черноголовка);
- Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова (ФГБОУ ВО «ХГУ им. Н.Ф. Катанова») (Россия, Абакан);
- Хакасское региональное отделение РИА (Россия, Абакан);
- Ханты-Мансийское региональное отделение Российской инженерной академии (Россия, Ханты-Мансийск);
- Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (Россия, Москва);
- Центральный научно-исследовательский институт швейной промышленности (Россия, Москва);
- Югорский государственный университет (Россия, Ханты-Мансийск);
- и др.

Список литературы

1. Сборник трудов V Международного научного форума Международный научный форум «Перспективные задачи инженерной науки» (Париж, Франция, 2004 год). Международная инженерная академия, 2004. – 594с.

2. Сборник трудов VI Международного научного форума «Перспективные задачи инженерной науки» (Гонконг, 2005 год). Международная инженерная академия, 2005. – 302с.

3. Сборник статей Международной конференции «Перспективные задачи инженерной науки» (Москва, Россия, 2021 год). Международная инженерная академия, М.: ООО «Издательский дом «Мастер», 2022. – 456с.

УДК 65-05

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ КАК СТРАТЕГИЧЕСКИЙ РЕСУРС АЗЕРБАЙДЖАНА
THE INTELLECTUAL POTENTIAL OF AZERBAIJANI ENGINEERS AS STRATEGIC RESOURCE

Ариф Пашаев[1,2,3]
Arif Pashayev[1,2,3]

[1] Азербайджанская Национальная академия авиации, Азербайджан, Баку
Azerbaijan National Aviation Academy, Azerbaijan, Baku
[2] Азербайджанская Инженерная академия, Азербайджан, Баку
Azerbaijan Engineering Academy, Azerbaijan, Baku
[3]Международная инженерная академия
[3]International Academy of Engineering
(e-mail: ama_aea@yahoo.com)

Аннотация: В статье приводится обзор и анализ работ, выполненных за последнее время в Азербайджанской инженерной академии. Показана важность реализации международных и национальных проектов, ведущих к социально-экономическому росту страны. Отмечается роль и потенциал инженерных кадров в совершенствовании стратегии устойчивого развития Азербайджана.

Abstract: The article provides an overview and analysis of recent works conducted at the Azerbaijan Engineering Academy. The importance of the implementation of the international and national projects leading to the socio-economic growth of the country is demonstrated. The role and potential of engineering personal in improving the sustainable development strategy of Azerbaijan is stated.

Ключевые слова: инженерные кадры, стратегический ресурс, инженерная наука, Технопарк, международное сотрудничество, научно-техническая информация.

Keywords: engineering personnel, strategic resource, engineering science, Technopark, international cooperation, scientific and technical information.

Рис.1. Новый тренажерный комплекс для симулирования полетов на самолетах типа Embraer E-190

Особое внимание Азербайджанская инженерная академия уделяет выработке и совершенствованию стратегии устойчивого развития страны, опираясь на национальные инженерные кадры. Академия объединяет в своих рядах докторов и кандидатов наук, профессоров и доцентов, основателей инженерных научных направлений ведущих исследовательских организаций и университетов. Среди членов академии – лауреаты Государственной премии, заслуженные деятели науки и техники, обладатели других почетных званий. В настоящее время численность действительных членов и членов-корреспондентов Азербайджанской инженерной академии составляет 45 человек, в том числе 24 академика, 21 член-корреспондент, 1 почетный член академии и 4 иностранных члена академии.

Наука и технологии всегда были двигателем развития общества, основой национальной экономики, инноваций и научно-технического прогресса. Развитие практических исследований ученых и инженеров сегодня является безусловным государственным приоритетом. Следует отметить, что в истории азербайджанской инженерной науки много известных имен, открытий и достижений [1, 2].

Как известно, в Азербайджанской Республике осуществляется государственная программа по созданию и развитию *космической промышленности*. Начало качественно новому этапу развития современной космической индустрии Азербайджана было заложено 8 февраля 2013 года с момента запуска на орбиту телекоммуникационных спутников.

Сегодня на орбиту выведен телекоммуникационный спутник, с помощью которого ведется вещание около 154 телеканалов и более 30 радиостанций [3]. Ведущим спутниковым оператором на Южном Кавказе является «АзерКосмос». Телекоммуникационные спутники «АзерСпейс-1» и «АзерСпейс-2», управляемые «АзерКосмосом», предоставляют высоконадежные, широкополосные и широковещательные решения для своих клиентов в Европе, Африке, на Ближнем Востоке, Кавказе и в Центральной Азии. Спутник дистанционного зондирования Земли с высоким разрешением (1,5 м изображения) «АзерСкай» предоставил качественные услуги по наблюдению Земли и геоинформации.

Азербайджанская инженерная академия совместно с ЗАО «Азербайджан Хава Йоллары» (AZAL) активно работает над развитием и улучшением профессионализма кадров в сфере авиации, над расширением ее материально-технической базы. Центр подготовки пилотов в Национальной академии авиации Азербайджана (НАА) является кузницей кадров гражданской авиации Азербайджана.

В Центре подготовки пилотов AZAL установлен *новый тренажерный комплекс для симулирования полетов* на самолетах типа Embraer E-190. Этот комплекс позволит пилотам Национального авиаперевозчика Азербайджана проходить подготовку в нашей стране без выезда за границу.

Полет на тренажере EMB190-100 полностью воспроизводит кабину самолета, динамику полета и видимость окружающего с максимальной реалистичностью. Это позволяет пилотам при успешном прохождении обучения получить лицензию на новый тип воздушного судна или пройти переподготовку. Новый тренажерный комплекс FS1000 Embraer E190-E1 Level D Full Flight Simulator после установки в НАА успешно прошел сертификацию со стороны Европейского агентства по авиационной безопасности (EASA), подтвердив соответствие уровню D, являющемуся наивысшим для тренажеров. В процессе сертификации со стороны EASA были проведены более 170 тестов по качеству и летным процедурам. Была проверена совместимость с реальным воздушным судном по всем системам тренажера. Обучение на данном комплексе будут проходить не только пилоты азербайджанских, но и иностранных авиакомпаний.

Центр подготовки пилотов AZAL функционирует с 2010 года. Он состоит из отделов теоретической и практической подготовки. Ежегодно отдел теоретической подготовки обеспечивает участие более 7000 специалистов гражданской авиации на более, чем 300 курсах повышения квалификации. В отделе практической подготовки функционируют важные для приобретения и поддержания профессиональных навыков

пилотирования летные тренажеры для воздушных судов Airbus A319/320, Boeing 757/767, ATR-42/72, а также вертолет Mi-8AMT [4].

Рис.2. Внешний вид «Дом творчества студентов» на базе Азербайджанской Национальной Академии Авиации

Для установки тренажерного комплекса в Национальной академии авиации было сооружено новое здание тренажерного комплекса в соответствии с последними требованиями к международным центрам подготовки пилотов. Производитель тренажерного комплекса - известный американский производитель FlightSafety International.

Дом Творчества Студентов (Технопарк) при Азербайджанской Национальной академии авиации (НАА) позволит исследователям, студентам, магистрантам и докторантам, а также специалистам разрабатывать новые решения для промышленности и бизнеса, тем самым приближая сектор науки, технологий и оборудования к индустриальному и деловому миру.

Как показывает многолетний опыт, образовательные программы вузов по инженерным специальностям формируется преимущественно в рамках технических дисциплин, однако полученные знания не всегда бываю достаточными. На мой взгляд, Дом Творчества студентов даст возможность, помимо знаний по специальностям, также быстро адаптироваться к инновациям, быть уверенным в себе, самостоятельно принимать решения и иметь практические навыки. Думаю, что такой подход к подготовке инженерных специальностей позволит поднять престиж современного инженера.

Следует отметить, что многие предприятия, работающие в промышленном секторе страны, вынуждены были проводить лабораторные

испытания и измерения за пределами страны. Такие заведения, как Технопарк при НАА, позволят проводить необходимые испытания уже в Азербайджане. Технопарк будет работать в новой среде современного типа, отвечающей международным стандартам, и будет пользоваться зарубежным опытом.

Технопарк открывает широкие возможности для формирования нового поколения исследователей и специалистов, а также возможность сотрудничества вуза с частным сектором, для реализации трансфера технологий, коммерциализации научных разработок, осуществления принципа «теория в бизнесе» для стартапов и бизнес-идей.

В области сельского хозяйства и экологии – внедрение и производственное использование минеральных удобрений, полученных с использованием нанотехнологий. Параллельное использование данного типа удобрений и ресурсосберегающих технологий орошения на практике позволяет получить урожайность зерновых на уровне 51 центнера с гектара в условиях равнинных районов Азербайджана. Ученые Инженерной академии проводили эксперименты на опытных полях НИИ Земледелия с использованием силикатных удобрений (чистого силиката и диоксида силиката в форме нанотрубочек) и изучалось их влияние на урожайность сорта мягкой пшеницы Гобустан.

Проведенные в указанный период полевые эксперименты с применением дифференцированных технологий орошения на основе предложенных моделей районирования подтвердили устойчивый характер разработанной матрицы. Применяемые модели позволяют не только останавливать процессы засоления земель сельскохозяйственного назначения, но и возвращать в севооборот земли, выведенные из производства в результате антропогенного воздействия. Для Азербайджана данный вопрос приобретает принципиальное значение в целях обеспечения продовольственной безопасности.

Принимая во внимание важность развития *инфраструктуры и логистики* для экономики Азербайджана, члены Азербайджанской инженерной академии также приняли активное участие в этих проектах. Разрабатывается новая реформа, потребовавшая глубокой перестройки практически всех процессов внутри отраслей компании и ее партнеров в секторе.

В истории азербайджанского *авиатранспорта* грузоперевозчик Silk Way West является примером удачной и масштабной программы развития сервисной компании до уровня одного из мировых лидеров. Корпоративный рейтинг Boeing признал азербайджанский грузоперевозчик Silk Way West самой быстрорастущей авиакомпанией с точки

зрения численности авиапарка, географического охвата и объема грузов. Сегодня мы занимаем третье место в Европе по этим трем критериям. Silk Way выполняет около 250 регулярных и чартерных рейсов в месяц по более чем 50 направлениям в Европе, Азии, Северной и Южной Америке.

АзЖД с участием членов Инженерной академии использует все преимущества трансвидовой инфраструктуры: международный порт в Аляте, региональные транспортно-логистические центры, восстановленные и модернизированные железные дороги «Баку – Беюк Кесик» и «Баку – Ялама», международная железнодорожная трасса «Баку – Тбилиси – Карс».

Обновлен парк железнодорожных перевозок, на всех путях обеспечен переход к системе тяги с переменным током, что дает возможность увеличивать среднюю массу грузового поезда.

Введенное в строй в ноябре 2021 года Баладжарское депо для 50 локомотивов, работающих на переменном токе, позволит обеспечивать своевременный ремонт подвижного состава. Электровозы составляют 90% локомотивного парка в Азербайджане. АзЖД планирует расширить использование переменного тока в их электроснабжении. Для этого построены 12 тяговых подстанций и реконструировано 768 километров контактной сети.

Сдана железнодорожная линия «Горадиз – Агбенд» и планируются работы по модернизации железной дороги «Сумгаит – Ялама» (граница России), являющейся частью МТК Север-Юг.

Наиболее оптимальный сценарий для Азербайджана и его партнеров для развития Каспийско-Кавказского узла трансевразийского транзита – это создание единой управляющей логистической компании для всех меридианных и широтных направлений. Объективные обстоятельства географической обусловленности расположения маршрута не совсем благоприятные – как минимум две, а то и три перевалки на Каспии (если груз далее следует по Черному морю) на пути следования контейнера от Китая до границы с Евросоюзом. Конечно, ситуацию упрощает наличие трассы «Баку – Карс» и присутствие здесь ведущего оператора в лице дочерней компании ADY Container. В этом плане азербайджанская инфраструктура логистических услуг, наиболее развитая и сильная в регионе, является выгодным партнёром для РЖД.

В энергетическом секторе Азербайджана члены нашей академии продолжают участвовать в глобальном проекте Трансанатолийского газопровода (TANAP, часть проекта Южного газового коридора). TANAP поставляет газ с газоконденсатного месторождения Каспийский

Шах Дениз в Турцию, а оттуда в Европу. Трансанатолийский газопровод - крупный проект в истории энергетики 21 века. TANAP объединяет семь стран: Азербайджан, Грузию, Турцию, Болгарию, Грецию, Албанию и Италию. Ожидается, что на следующем этапе к нему присоединятся Босния и Герцеговина, Хорватия и Черногория. Вскоре будет запущен проект Трансадриатического газопровода (TAP). Маршрут TAP проходит через Албанию и Адриатическое море от турецко-греческой границы до юга Италии. Южный газовый коридор станет энергетическим мостом между Каспийским регионом и европейскими рынками и поможет диверсифицировать поставки энергии в Европу.

АО «Азерэнержи» при участии членов Азербайджанской инженерной академии построило *новую малую гидроэлектростанцию* на освобожденных от оккупации территориях, включая гидроэлектростанцию «Суговушан» с высокой эффективностью на Южном Кавказе.

В области нефтехимических технологий ученые и инженеры нашей академии работают над разработкой нового состава ингибиторов коррозии для защиты металлов в пластовых водах нефтегазовых месторождений, содержащих сероводород и диоксид углерода. Получены многофункциональные и высокоэффективные ингибиторы коррозии, способные защищать насыщенный диоксидом углерода металл в пластовых водах.

Трибуной всех инженерных кадров страны является международный научно-технический журнал «Вестник Азербайджанской инженерной академии», который был учрежден и зарегистрирован в Минюсте Азербайджана в 2009 году и систематически обновляется в формате, соответствующем международным стандартам. Так, например, в 2021 году журнал был включен в Международные базы данных научного цитирования **International Scientific Indexing (ISI)** и **Scientific Journal Impact Factor (SJIF)**, получены сертификаты. Импакт-фактор **ISI** для журнала на 2021 год составил 1,327; импакт-фактор **SJIF** – 8,38. Кроме того, журнал лицензирован по международной лицензии Creative Commons Attribution – NonCommercial 4.0. Мы являемся правообладателями интегрированного научного ресурса в сети Интернет, включающего Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), коэффициент которого определяет рейтинг журнала. Полнотекстовая электронная версия журнала размещена в базе данных Российской универсальной научной электронной библиотеки e-library. Опубликованным статьям присваивается DOI (Digital Object Identifier - цифровой идентификатор объекта). С 1 января 2022 года началось издание электронной версии журнала наряду с печатной. Для этого получен онлайн-ISSN-2789-8245 из Франции. Это верное решение в условиях глобального перехода на

online-систему поиска информации. Обмен знаниями и опытом, особенно в области инженерной науки, является эффективной стратегий для успешного развития общества.

Эти нововведения призваны повысить рейтинг цитируемости журнала, эффективность и гибкость распространения публикуемой научно-технической информации на международной арене, а также способствуют более широкому обмену информацией и признанию в научных кругах.

Вот уже на протяжении 13 лет журнал «Вестник Азербайджанской Инженерной Академии» активно участвует в научной жизни Азербайджана и зарубежных стран. Журнал придает большое значение видению проблем, над которыми работают ученые всего мира. «Вестник» публикует статьи на трех языках – азербайджанском, английском и русском, распространяя материалы с помощью коммерческих баз данных, а также проводя индексирование и цитирование с переходом в зарубежные аналитические базы. Ежегодно членами инженерной академии публикуется свыше 350 статей. «Вестник» стал живой трибуной обмена мнениями как для зарубежных, так и для наших ученых, противоречивых гипотез и исследований.

Наша академия, ее научные и инженерные силы проявляют активность для реализации важных для развития экономики Азербайджана задач. Совместно с Международной Инженерной академией мы разрабатываем новые предложения по осуществлению крупных научных проектов.

Литература

1. Гусев Б.В. История становления Международной Инженерной академии // В сб. «Перспективные задачи инженерной науки». М.: ООО «Издательский дом «Мастер». 2022. – с. 6-24

2. Пашаев А.М. Приоритеты Азербайджана: энергетические проекты и наращивание наукоёмких отраслей // В сб. «Перспективные задачи инженерной науки». М.: ООО «Издательский дом «Мастер». 2022. – с. 25-31

3. https: azercosmos.az

4. https://naa.edu.az/

УДК 621

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ
ANALYSIS OF THE PROSPECTS FOR SUSTAINABLE ENERGY DEVELOPMENT IN THE WORLD

Сергей Ашотович Минасян[1], Андраник Суренович Аракелян[2], Арам Ашикович Геворгян[1,2], Размик Нагапетович Барсегян[1,2]
Sergey A. Minasyan[1], Andranik S. Arakelyan[2], Aram A. Gevorgyan[1,2], Razmik N. Barseghyan[1,2]

[1]Международная инженерная академия
[1]International Academy of Engineering
[2]Национальный Политехнический Университет Армении
[2]National Polytechnic University of Armenia
(e-mail: a.gevorgyan@polytechnic.am)

Аннотация: Произведен краткий анализ современного состояния и перспектив развития мировой энергетики и роли ее ядерной и возобновляемой составляющих с точки зрения устойчивого развития, а также энергобезопасности и энергообеспеченности отдельно взятого региона или государства.

Abstract: The article provides a brief analysis of the current status and prospects for the development of the world energy and the role of its nuclear and renewable components in terms of sustainable development, as well as energy security and energy sufficiency of a particular region or state.

Ключевые слова: устойчивое развитие, ядерная энергетика, парниковый эффект, энергопотребление, показатели энергообеспеченности, ядерные энергетические установки, низкоуглеродные источники энергии, «зеленая» энергетика.

Keywords: sustainable development, nuclear energy, greenhouse effect, energy consumption, energy supply indicators, nuclear power plants, low-carbon energy sources, "green" energy.

Термин «устойчивое развитие» получил широкое распространение в 1987 г. после того, как Международная комиссия по окружающей среде и развитию ООН, возглавляемая председателем комиссии Гру Харлем Брундтланд, опубликовала доклад «Наше общее будущее». В нем устойчивое развитие определяется следующим образом: «Челове-

чество способно придать развитию устойчивый и долговременный характер с тем, чтобы оно отвечало потребностям ныне живущих людей, не лишая будущие поколения возможности удовлетворять свои потребности. Природные ресурсы Земли являются общим наследием всего человечества, включая как ныне живущие, так и будущие поколения» [1-4].

Устойчивое и долговременное развитие представляет собой процесс изменений, в котором масштабы эксплуатации ресурсов, направления капиталовложений, ориентация технического развития и инвестиционные изменения согласуются с нынешними и будущими потребностями» [1]. Устойчивое развитие требует удовлетворения наиболее важных для жизни потребностей всех людей и предоставления всем возможности удовлетворять свои стремления к лучшей жизни в равной степени. В понимании устойчивого развития выделяют 3 важнейших сферы:

Экономическая: экономическая устойчивость требует, чтобы различные виды капитала, обеспечивающие экономическое производство, сохранялись или увеличивались;

Экологическая: сохранение экосистем и природных ресурсов необходимо для устойчивого экономического производства и межпоколенного равенства;

Социальная: социальное равенство, удовлетворение базовых потребностей в здоровье и образовании, представительная демократия являются ключевыми элементами развития.

Эти 3 сферы пересекаются друг с другом и при этом они взаимосвязаны также и с экологической устойчивостью [2-4].

В июле 2014 года рабочая группа Генеральной Ассамблеи ООН по целям устойчивого развития одобрила документ, в которм были представлены так называемые ***семнадцать целей устойчивого развития***. Так как для всех сфер устойчивого развития жизненно важное значение имеет энергия, она влияет на развитие всего человечества, в том числе на производство продуктов питания и увеличение доходов, а также на изменение климата и т.д., то устойчивая энергетика необходима для укрепления экономики, защиты экосистем и достижения справедливости. Поэтому ***седьмая цель устойчивого развития*** сформулирована следующим образом: *обеспечить всеобщий доступ к недорогим, надежным, устойчивым источникам энергии для всех* [5].

Согласно оффициальным данным, за 2020 г. мировое потребление первичной энергии из-за пандемии COVID-19 и ее влияния на спрос на транспортное топливо и общие экономические показатели упало до отметки 556.63 ЭДж, а за текущий 2021 г. оно уже составляет свыше

572 ЭДж, чему соответствует выброс 42 494·109 т CO_2 парниковых газов [6]. Конечное потребление электроэнергии за последние 45 лет увеличилось более, чем в 4 раза. Львиная доля потребления электричества приходится на индустрию, следом идет сектор жилищно-коммунальных хозяйств [7]. Также изменилась структура использования источников энергии для производства электричества: все большее количество стран для этих целей стало активно использовать возобновляемые источники энергии (ВИЭ), биомассу и утилизацию мусора (отходов). Все это привело к тому, что доля нефтепродуктов в производтве электроэнергии с 24.8% 1973 г. снизилась до 2.8% в 2019 г. Доля же использования низкоуглеродных источников энергии, таких как природный газ и ядерная энергия, увеличилась почти в 2 и 3 раза.

В 2020 г. после 3 лет стабильного годового роста в 2,4% производство электроэнергии в мире сократилось на 3,5%. При этом глобальная пандемия, начавшаяся в конце 2019 г., повлияла как на потребление, так и на производство электроэнергии во всем мире. Так, из-за глобального локдауна и ограничений в транспортной сфере, а также снижения спроса в промышленном секторе, страны OPEC+ снизили нефтедобычу. В то же время в некоторых регионах это влияние и изменения не одинаковые, так, например, в 2020 г. на Ближнем Востоке произошел спад производства электроэнергии, а в Китае выработка электроэнергии продолжает расти, несмотря на международный кризис.

Следует отметить, что не везде и не всегда представляется возможным полностью или частично отказатся от угля в пользу природного газа, как источника для производства электроэнергии. Причинами могут служить как политическая составляющая, так и большие запасы угля. В последнем случае большие запасы угля обуславливают его перевес в энергобалансе страны. Так, хотя в Китае разведанные запасы газа увеличились, в структуре выработки электроэнергии ведущую роль играет уголь.

В сфере нефтедобычы можно отметить, что, по данным BP Statistical Review of World Energy, в 2016 г. десятью основными нефтедобывающими странами извлекалось более 3 млрд. тонн нефти. В десятке лидеров РФ (554,3 млн. тонн или 12,6% от общемирового объема добычи), а главным добытчиком стала Саудовская Аравия (585,7 млн. тонн). Показатели США равнялись 543 млн. тонн, включая сланцевую нефть [8]. Данные BP Statistical Review of World Energy 2021 г. по нефтедобыче за 2020 г. показывают, что из 4165.1 млн тонн 30,8% приходилось на страны ОЭСР, страны ОПЕК добывали 34.7% нефти во всем мире, 0,5% от общего составила нефтедобыча стран ЕС [9, 10].

Сегодня все большее количество стран переходит на низкоуглеродную или декарбонизированную экономику, основанную на использовании низкоуглеродных источников энергии и имеющую минимальный объем эмиссии парниковых газов, в частности двуокиси углерода, в атмосферу. «Лидером» по загрязнению атмосферы выбросами CO_2 является Китай, у которого в энергетическом балансе уголь имеет большую долю. Втором место за США. Только на эти две страны вместе приходится более 40% общемировых выбросов CO_2. За 170 лет США выбросили в атмосферу 509 Гт CO_2, почти 20% от общемирового объема загрязнения. Также в десятку стран по выбросу CO_2 входят РФ, соседний Иран, Индия с ее быстроразвивающейся экономикой, Саудовская Аравия и Германия.

Энергетический кризис привел к рекордному уровню выбросов углекислого газа, поскольку Европа сжигает больше угля. Цена за выброс тонны углерода в ЕС в 2021 г. к концу ноября выросла более чем в два раза [11]. Германия является локомотивом «зеленой энергетики», к тому же она с Италией возглавила рейтинг энергоэффективности стран, составленным американским советом по энергоэффективной экономике (ACEEE).

Для сдерживания парникового эффекта наравне с энергосбережением и внедрением энергоэффективных технологий, использованием все большего количества ВИЭ большим потенциалом в качестве низкоуглеродного источника энергии обладает ядерная энергетика [12, 13], которая в 2018 г. обеспечивала около 10% всей производимой в мире электроэнергии [14]. Согласно IEA Net Zero by 2050 Roadmap for the Global Energy Sector и прогнозам МАГАТЭ, к 2050 г. будут нужны еще ядерные мощности [13, 15, 16].

Наряду с расширением использования ВИЭ и переходом от каменного угля к природному газу возросшее производство электроэнергии на АЭС способствовало стабилизации глобальной динамики выбросов CO_2 в 2019 г. на уровне 33 Гт [17]. Последние ежегодные прогнозы МАГАТЭ о тенденциях на рынке энергии, электроэнергии и в сфере ядерной энергетики на период до 2050 г. показывают, что ядерная энергетика будет продолжать играть ключевую роль в мировой структуре производства низкоуглеродной энергии, а мировые мощности производства электроэнергии на АЭС к 2050 году практически удвоятся [12-18].

В 2020 и 2021 г. выработка атомной энергии была несколько ниже по сравнению с 2019 г., когда ядерные реакторы во всем мире произвели 2790 ТВт·ч. На протяжении последних лет тенденция к постоянному увеличению выработки атомной энергии не меняется: с 2012 г.

рост составил более 8%. При этом доля Китая и других быстро развивающихся азиатских стран в производтве электроэнергии на ядерном топливе быстро растет: по сравнению с 1973 г. в 2019 г. доля Китая составила 12.5%, для остальных стран Азии, не входящих в ОЭСР, она увеличилась почти в 2.5 раза.

Ограничение экономической и социальной активности во время вспышки COVID-19 в 2020 г. привело к снижению спроса на электроэнергию: во многих странах оно составило 10% и более по сравнению с уровнем 2019 г. За счет своей гибкости ядерная энергетика показала, каким образом она может способствовать переходу к экологически чистой энергии. В краткосрочной и долгосрочной перспективе наибольший рост использования ядерной энергетики ожидается в Азии, где по состоянию на конец 2021 г. строится 56 реакторов [15].

В конце 2021 г. десять реакторов общей мощностью 8,7 ГВт (эл.) были выведены из эксплуатации и шесть ядерных энергетических реакторов общей мощностью 5,2 ГВт (эл.) были введены в эксплуатацию. Примерно 90.5% действующих ЯЭУ приходилось на реакторы с легководным замедлителем и теплоносителем [15].

По оптимистическому прогнозу, доля ядерной энергетики в производстве электричества к 2030 г. возрастет на 28% и увеличится в более, чем в 2 раза к 2050 г. по сравнению с 2021 г. [16]. Из прогнозов следует, что в странах Северной Америки и Европы доля ядерной энергетики в производстве электричества снизится, когда в странах Азии с плотным и большим населением ее доля, наоборот, возрастет. На пессимистический и оптимистический прогнозы влияют количество и плотность населения, тенденция внедрения «зеленой» энергетики для перехода на низкоуглеродное будущее и сдерживание парникового эффекта. Свой вклад вносит и запас ископаемых топлив и чрезвычайные происшествия на АЭС, обусловленные человеческим фактором и природными катаклизмами. Несмотря на это, ядерная энергетика есть и остается одним из важнейших компонентов низкоуглеродной энергетики и гарантов седьмой цели устойчивого развития.

В отрасли возобновляемой энергетики ведущую роль играют солнечная и ветровая энергетики. Известно, что в 2021 г. солнечные фотоэлектрические системы произвели в общей сложности более 1000 ТВтч электроэнергии, что составляет 3,6% мирового производства электроэнергии. Этот показатель на 179 ТВтч выше, чем в 2020 г. и обеспечивает 22% годовой рост. В том же 2021 г. доля ветровых электростанций (ВЭС) в мировом производстве электроэнергии составила 6,6%, а годовой прирост производства электроэнергии ВЭС в 2021 г. составил 275 ТВтч, т.е. 17% по сравнению с 12% 2020 г. В 2020 г. суммарная доля

всех возобновляемых источников энергии в мировом производстве электроэнергии составила 29% по сравнению с 27% 2019 г. Годовой прирост количества электроэнергии, производимой солнечными фотоэлектрическими установками в 2020 г. составил 23%. В случае гидроэнергетики годовой прирост производства электроэнергии составил примерно 3% в 2020 и 2021 годах. В целом в 2020 и 2021 гг. солнечная и ветровая энергия вместе обеспечивали более 9% мирового производства электроэнергии, т.е. почти в два раза больше соответствующего показателя на момент подписания Парижского соглашения в 2015 г. В 2021 году общая установленная мощность солнечных фотоэлектрических установок составила более 840 ГВт [19–20].

В 2022 г. по данным Международного энергетического агентства, прирост общей установленной электрической мощности электростанций, использующих возобновляемые источники энергии, составит 320 ГВт. Ожидается, что к 2050 г. доля солнечной энергии в мировой энергетике значительно возрастет, а энергия, вырабатываемая солнечными фотоэлектрическими панелями и концентраторами, составит 16 и 11% от общего мирового потребления соответственно. Однако для обеспечения повышения средней температуры воздуха в мире не более, чем на 1,5°C в результате глобального потепления необходимо до 2050 г. сократить выбросы парниковых газов до нуля (сценарий Net Zero Emissions). А это означает, что к 2030 году текущий ежегодный прирост фотоэлектрических мощностей необходимо будет примерно утроить [19-20].

В настоящее время лидером по суммарной установленной электрической мощности солнечных фотоэлектрических установок является Китай (340 ГВт). Затем следуют США (~103 ГВт), Япония (78.5 ГВт), Германия (~63 ГВт) и Индия (57 ГВт) [19–20].

Выводы

И так, в устойчивое развитие и переход на низкоуглеродную энергетику свой высокий вклад вносит ядерная энергетика. На прогноз развития и более широкого внедрения ядерной энергетики для общемирового производства электричества влияют количество и плотность населения страны и региона, запас ископаемых топлив. Кроме большого запаса ископаемых топлив тормозящий эффект на ее развитие вносят и чрезвычайные происшествия на АЭС, «под аффектом» которых некоторые страны, в том числе развитые европейские державы, отказываются от ЯЭУ в пользу ВИЭ.

На основании анализа современного состояния и прогнозов развития возобновляемой, в частности, солнечной энергетики, можно отметить, что она интенсивно развивается как во всем мире, так и в отдельно взятых странах, богатых ВИЭ.

Список литературы

1. Энергетика и устойчивое развитие [Электронный ресурс] // Бюллетень МАГАТЭ 54-1-Март 2013г.
2. Holmberg, Johan ed. Making Development Sustainable: Redefining Institutions, Policy, and Economics. – Washington, D.C.: Island Press, 1992.
3. Reed, David ed. Structural Adjustment, the Environment and Sustainable Development. – London: Earthscan Publications, 1997.
4. Harris, Jonathan M., Timothy A Wise, Kevin P. Gallagher, and Neva R. Goodwin eds. A Survey of Sustainable Development: Social and Economic Dimensions. – Washington, D.C.: Island Press, 2001.
5. https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy/
6. https://www.theworldcounts.com/challenges/climate-change/energy/global-energy-consumption/story
7. Key world energy statistics/ IEA 2021
8. https://www.tadviser.ru/index.php (Carbon_Free_Zone)
9. British Petroleum, 2021 https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/investors/bp-annual-report-and-form-20f-2020.pdf
10. https://www.annualreports.com/Company/bp-plc
11. https://helios.su/blog/553-predstavlen-rejting-energoeffektivnosti - stran/
12. IAEA, Nuclear Energy for a Net Zero World, Vienna, September, 2021
13. IEA, Net Zero in 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector, Paris, 2021.
14. https://energystats.enerdata.net/renewables/wind-solar-share-electricity-production.html
15. IAEA-RDS-2/41 Nuclear Power Reactors: Reference Data Series No2_2022 Edition
16. IAEA-RDS-1/40 Energy, electricity and nuclear power estimates for the period up to 2050: Reference Data Series No1_2022 Edition
17. https://www.iaea.org/ru/temy/yadernaya-energetika-i-izmenenie-klimata
18. https://nangs.org/news/renewables/nuclear/atomnaya-energetika-v-2020-godu-dokazala-svoyu-nadezhnost
19. https://www.c2es.org/content/renewable-energy/
20. https://ourworldindata.org/grapher/installed-solar-pv-capacity

УДК 535.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИНТОВОЙ ФАЗОВОЙ ДИСЛОКАЦИИ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ДЛЯ ЗАПИСИ НОВОГО ВИДА СКРЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ
USING A WAVEFRONT SCREW PHASE DISLOCATION TO RECORD A NEW KIND OF HIDDEN IMAGE

Леонид Викторович Танин[1,2], Андрей Иванович Горчарук[1], Елена Александровна Мельникова[3], Алексей Леонидович Толстик[3]
Leonid V. Tanin[1,2], Andrei I. Harcharuk[1], Elena A. Melnikova[3], Aleksey L. Tolstik[3]

[1]ЗАО "Голографическая индустрия"
[1]CJSC "Holography industry"
[2]Международная инженерная академия
[2]International Akademy of Engineering
[3]Белорусский Государственный университет
[3]Belarusian State University, Minsk, Belarus.

Аннотация: Данная работа посвящена разработке нового вида скрытого изображения, отработке способа его голографической записи, а также созданию перспективной технологии использования дифракционных жидкокристаллических элементов для оптимизации процесса внесения скрытого изображения в отражательную голограмму.

Abstract: The target of this work was to develop a new type of a hidden image, to fine-tune methods of its writing into reflecting holograms, and to use advanced technology of deployment diffraction liquid crystal elements for process of inserting a hidden image into a reflecting hologram optimization.

Ключевые слова: голографические защитные технологии, методы записи голограмм, полимеризуемые жидкие кристаллы, винтовая фазовая дислокация волнового фронта, сингулярный пучок, запись скрытых изображений, голографические дифракционные решетки.

Keywords: holographic protective technologies, recording hologram methods, polarizable liquid crystal, helical phase dislocation of wavefront, singular beam, hidden images recording, holographic diffraction gratings.

Одним из эффективных способов борьбы с подделкой голографических защитных элементов является разработка новых способов записи голографических изображений и технологий их производства [1].

Для эффективного контроля используемой на внутреннем рынке голографической продукции необходимо решить две задачи. Первая задача состоит в разработке различных схем голографического кодирования защитных элементов, вторая – в создании компактных устройств декодирования этой информации. Целью настоящей работы являлась разработка нового вида скрытого изображения, отработка способа его голографической записи, а также создание перспективной технологии использования дифракционных ЖК элементов для оптимизации процесса внесения скрытого изображения в отражательную голограмму.

В качестве нового способа защиты голографической продукции нами предложен метод записи в определенные участки голограммы особой дифракционной решетки, которая по своей сути является результатом интерференции опорного плоского пучка и предметного пучка с винтовой фазовой дислокацией волнового фронта (так называемого, сингулярного пучка или «оптического вихря» [2-5]. Основным свойством сингулярных световых пучков является наличие на волновом фронте особой точки - винтовой дислокации. В данной точке амплитуда светового поля обращается в ноль, а фаза не определена. При обходе вокруг винтовой дислокации по поверхности волнового фронта фаза изменяется на $2\pi l$, где l – величина, называемая топологическим зарядом сингулярного пучка и являющаяся характеристикой винтовой дислокации. Картины интерференции сингулярного светового пучка с плоской волной характеризуются образованием характерной вилки, количество разветвлений которой определяет величину топологического заряда. Запись скрытого изображения представляет собой фиксирование этой интерференционной картины в общем массиве голограммы. При дифракции плоского лазерного пучка на записанной решетке происходит восстановление предметного пучка. Картина дифракции напоминает беселев пучок, но в отличие от последнего при вторичной интерференции с когерентной плоской волной он образует картину интерференционных полос, повторяющую записанную в массиве голограммы дифракционную решетку скрытого изображения (рис. 1). Вид этой картины позволяет определить порядок сингулярного пучка, что может быть использовано, в свою очередь, для кодирования голографического элемента.

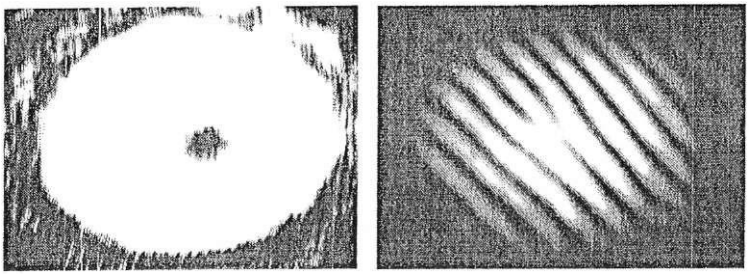


Рис. 1. Вид сингулярного оптического пучка и экспериментально полученной картины интерференции плоской волны и оптического вихря.

Запись скрытого изображения производится на этапе создания радужной голограммы на фоторезисте. Для формирования предметной волны, являющейся сингулярным пучком, необходимо использование транспаранта с определенной структурой, формирующей световое поле с фазовой сингулярностью. При использовании амплитудного транспаранта максимальная дифракционная эффективность не превышает 10%, поэтому одной из задач работы являлся поиск способа увеличения дифракционной эффективности.

В результате проведенных исследований разработаны и созданы электрически управляемые жидкокристаллические дифракционные элементы, позволяющие формировать поле с требуемыми свойствами [6]. Начальная модуляция показателя преломления этих элементов осуществляется посредством пространственной ориентации молекул ЖК фотополимерным ориентирующим покрытием на одной из подложек ЖК ячейки в соответствии с пространственной структурой предварительно засвечивающего его светового поля. Засветка производилась через рассчитанную никелевую маску- транспарант на кварцевом стекле. Вторая подложка для лучшей ориентации молекул ЖК была засвечена пространственно однородным излучением ортогонально (Т-деформация). Толщина ЖК-слоя составляла 20 мкм и обеспечивала формирование тонких фазовых решеток с периодом в десятки микрон.

Использование Т-деформации является наиболее предпочтительным, поскольку преимущественная ориентация молекул ЖК на обеих подложках ортогональна и в ячейке создается пространственно-неоднородная твист-структура. Причем световой пучок должен направляться на грань ЖК-ячейки с пространственно-модулированным состоянием фотополимера. Экспериментально зафиксированы значения дифракционной эффективности близкие к предельному значению для тонких фазовых голограмм (-30%).

Анализ зависимости дифракционной эффективности ЖК-элемента (дифракционная решетка) от приложенного электрического напряжения показал, что существует оптимальное значения напряжения, при которых дифракция в первый порядок максимальна (U ~ 1,3 В). При напряжениях свыше 5 В происходит практически полная переориентация директора ЖК (молекулы жидкого кристалла располагаются ортогонально электродам) и световой пучок распространяется вдоль оси двулучепреломляющего кристалла, практически не дифрагируя (рис. 2). Существование оптимальных значений напряжения связано с особенностями дифракции света на анизотропных решетках при разности оптических длин для обыкновенной и необыкновенной волн, в несколько раз превышающей длину волны лазерного излучения (толщина ячейки 20 мкм, $n_e - n_o$ ~0,18).

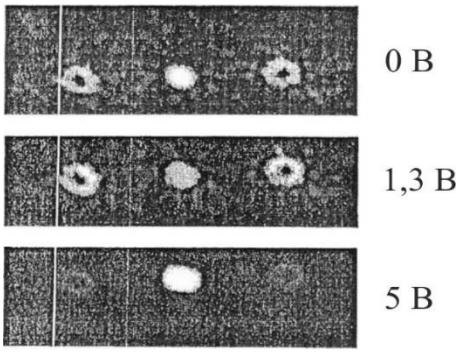


Рис. 2. Экспериментально полученная картина зависимости дифракции плоской волны на ЖК- элементе от напряжения на подложках ячейки.

Для идентификации скрытого изображения предложен способ, основанный на интерференции плоской волны и пучка, продифрагированного на сингулярной голограмме, и базовая схема идентификатора сингулярных световых пучков (рис. 3). Также проанализирована возможность модернизации уже имеющихся на рынке идентификаторов скрытых изображений для восстановления предложенного защитного элемента.

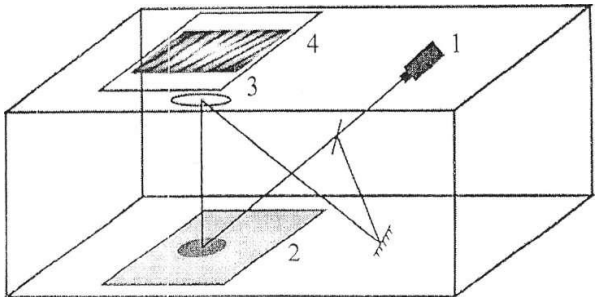


Рис. 3. Базовая схема устройства идентификации: 1 – лазер, 2 – голограмма, 3 – линза, 4 – экран идентификатора.

Таким образом, в работе предложен метод дополнительной защиты голографической продукции путем внедрения в массив голограммы особой дифракционной решетки, формирующей при попадании плоского пучка сингулярный пучок с определенным топологическим зарядом. Решетки такого рода могут быть записаны как средствами компьютерной голографии на проекционных голографических принтерах, так и при создании классической радужной голограммы. Для формирования необходимого при записи скрытого изображения предметного сингулярного пучка предложено использование фазового дифракционного ЖК элемента на основе фотополимерного ориентанта. Продемонстрирована работоспособность схемы электрического управления ЖК-ячейкой, позволяющей достигать эффективной записи скрытого изображения с максимальной дифракционной эффективностью.

Выводы: В результате проведенных исследований разработан новый вид скрытого изображения, основанный на использовании винтовой фазовой дислокации волнового фронта. Это позволит создать перспективную технологию использования дифракционных жидкокристаллических элементов для оптимизации процессов внесения скрытого изображения в отражательную голограмму.

Список литературы:

1. Танин Л.В. Голографические защитные элементы: синтез и анализ / Танин Л.В., Ероховец В.К. // Лазерная физика и применение лазеров: тез. докл. Междунар. конф., Минск, 14-16 мая 2003 г. / НАН Беларуси, Ин-т физики. – Минск, 2003. – С. II – 17 у.

2. Nye J.F., Berry M.V. Dislocations in wave trains // Proc. R. Soc. Lond. A. 1974. V. 336. P. 165 - 190.

3. Баранова Н.Б., Зельдович Б.Я. Дислокации поверхностей волнового фронта и нули амплитуды//ЖЭТФ. 1981, т. 80, с. 1789-1797.

4. Volostnikov V.G. Phase problem in optics // J. Sov. Laser Research. 1990, v. 11, N.6, p.601-626.

5. Bazhenov V.Yu., Soskin M.S., Vasnetsov M.V. Screw dislocations in light wavefronts // J. Mod. Optics. 1992, v.39, p.985-990.

6. Казак А.А., Мельникова Е.А., Толстик А.Л., Могильный В.В., Станкевич А.И. Управляемые дифракционные жидкокристаллические структуры на основе полимерного фотоориентанта // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34, №20. С. 1 – 7.

УДК 677.074

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ КАЗАХСТАНА В УСЛОВИЯХ ЧЕТВЁРТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ
NEW OPPORTUNITIES FOR KAZAKHSTAN'S DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION

Добреньков Владимир Иванович[1], Айтимов Аксерик Сарыевич[2,3], Афонин Юрий Алексеевич[3]
Dobrenkov Vladimir Ivanovich[1],Aitimov Akserik Saryevich[2,3], Afonin Yuri Alekseevich[3]

[1]Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова
[1]Lomonosov Moscow State University
(e-mail: koncy@mail.ru)
[2]Национальная инженерная академия Республики Казахстан
[3]Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем, г.Уральск, Республика Казахстан
[3]Kazakhstan University of Innovation and Telecommunication Systems, Uralsk, Republic of Kazakhstan
(e-mail: koncy@mail.ru)

Аннотация: актуальность темы обусловлена тем обстоятельством, что инженерный мир вступает в эпоху Четвертой промышленной революции, эру глубоких и стремительных изменений: технологических, экономических и социальных. Новый технологический уклад кардинально меняет то, какие инженерные профессии потребуются в будущем и каков будет новый социальный уклад. Необходимо быть готовыми к глобальным изменениям и вызовам. Для этого нужны концептуальные разработки для успешной навигации и адаптации в новом мире - мире Четвертой промышленной революции.

Abstract: the relevance of the topic is due to the fact that the engineering world is entering the era of the Fourth Industrial Revolution, an era of deep and rapid changes: technological, economic and social. The new technological order is fundamentally changing what engineering professions will be required in the future and what the new social order will be. The need to be ready for global changes and challenges. This requires conceptual developments for successful navigation and adaptation in the new world - the world of the Fourth Industrial Revolution.

Ключевые слова: “умные технологии”, интеллектуальные транспортные системы, человеческий капитал, “зелёные” технологии, инжиниринг.

Key words: "smart technologies", intelligent transport systems, human capital, "green" technologies, engineering

Мир вступил в эпоху Четвертой промышленной революции, эру глубоких и стремительных изменений: технологических и инженерных. Новый технологический уклад кардинально меняет социальную реальность в Республике Казахстан. Поэтому Национальная инженерная академия РК приняла самое активное участие в разработке “дорожной карты” адаптации к новым реалиям. Чтобы быть готовыми к глобальным изменениям и вызовам была разработана стратегияразвития «Казахстан-2050», в которой определены магистральные задачи по реализации цели вхождения республики в тридцатку самых развитых стран мира.

Затем был разработан технологический план нации – 100 шагов по запуску Третьей модернизации Казахстана и Программа индустриализации. Эта программа включала в себя подпрограмму “Цифровой Казахстан”, комплексный Стратегический план развития Республики Казахстан до 2025 года.

Толчок к развитию инженерных технологий был дан в ходе проведения Всемирной специализированной выстаки “Экспо” в Нур-Султане в 2017 году. Наш университет представил международный проект, реализованный с учёными России “Виртуальная образовательная среда: умные рабочие места“.

Благодаря современным технологиям в 2017 году Республика Казахстан, преодолев негативные последствия мирового кризиса, вернулась на траекторию уверенного роста. По итогам года рост валового внутреннего продукта составил 4%, а промышленного производства - более 7%. При этом в общем объеме промышленности обрабатывающий сектор превысил 40%.

Благополучное развитие Казахстана позволило сформироваться среднему классу. Бедность сократилась в 13 раз, уровень безработицы снизился до 4,9%. Вместе с тем, в условиях мировой конкуренции требуется новое качество развития. Глобальные тренды показывают, что оно должно основываться в первую очередь на широком внедрении элементов Четвертой промышленной революции. Это несет в себе как вызовы, так и возможности. Неизменным остаётся ориентириориентир на обрабатывающий сектор с высокой производительностью труда. В то же время индустриализация должна стать более инновационной, используя

все преимущества нового технологического уклада 4.0. Поэтому учёными страны разрабатываютсяновые инструменты, направленные на модернизацию и цифровизацию наших предприятий с ориентацией на экспорт продукции. Они должны в первую очередь стимулировать трансферт технологий.

Они включают в себя оцифровку казахстанских промышленных предприятий, развитие собственной экосистемы разработчиков цифровых и других инновационных решений. Для инстуциализации таких подходов в Республике созданы инновационные центры, такие как Назарбаев Университет, МФЦА и Международный технопарк IT-стартапов, парк инновационных технологий «Алатау».

В 2018 годубыла разработанатретья пятилетка индустриализации, посвященная становлению промышленности «цифровой эпохи.

Мир XXI века продолжает нуждаться в природных ресурсах, которые и в будущем будут иметь особое место в развитии глобальной экономики и экономики нашей страны.

Поэтому в организацию сырьевых индустрий, к управлению природными ресурсами активно внедряются комплексные информационно-технологические платформы, повышаются требования к энергоэффективности и энергосбережению предприятий, а также экологичности и эффективности работы самих производителей энергии. В республикестремительно развивается сфера альтернативной, «чистой» энергии.

Сегодня на возобновляемые источники энергии (ВИЭ) приходится четверть мирового производства электроэнергии. По прогнозам, к 2050 году этот показатель достигнет 80%. Поэтому за счёт внедрения новых технологий решается задача довести долю альтернативной энергии в Казахстане до 30% к 2030 году.

Сегодня у нас уже действует 55 объектов ВИЭ общей мощностью 336 МВт, которыми в 2019 году выработано порядка 1,1 миллиарда кВт·ч «зеленой» энергии.Разрабатываются современные технологии по современной утилизации и переработке твердо-бытовых отходов с широким вовлечением субъектов малого и среднего бизнеса.Для поддержки этих направлений в республике разработан Экологический кодекс.

Учёные республики активно внедряют “умные технологии” в агропромышленном секторе. Благодаря технологиям прогнозирования оптимального времени для посевной и уборки урожая, «умного полива», интеллектуальным системам внесения минеральных удобрений и борьбы с вредителями и сорняками значительно увеличена производительность и интенсивность труда в сельскохозяйственном секторе промышленности.

Беспилотная техника позволяет значительно сократить себестоимость земледелия, минимизируя человеческий фактор. Внедрение новых технологий позволяетт создать и продвигать бренд натуральных продуктов питания «Сделано в Казахстане», который является узнаваемым в мире.

Внедрение “умных“ технологий позволяет повысит эффективность транспортно-логистической инфраструктуры. Сегодня через Казахстан проходит несколько трансконтинентальных коридоров. В целом транзит грузов через Казахстан в 2019 году вырос на 17% и составил почти 17 миллионов тонн. В планах республики довести ежегодные доходы от транзита в 2020 году до 5 миллиардов долларов. Это позволит в кратчайшие сроки вернуть затраченные государством средства на инфраструктуру. Решение этой задачи обеспечивается масштабным внедрением цифровых технологий, таких как блокчейн, для отслеживания движения грузов в онлайн-режиме и беспрепятственного их транзита, а также упрощения таможенных операций. Современные решения позволяют организовать взаимодействие всех звеньев логистики. Использование «больших данных» (Big data) позволяетт обеспечить качественной аналитикой, выявить резервы роста и снизить избыточные затраты. Для этих целей внедряется Интеллектуальная транспортная система. Она позволяет эффективно управлять транспортными потоками и определять потребности дальнейшего развития инфраструктуры.

Строящиеся и уже имеющиеся дома и объекты инфраструктуры оснащаются системами интеллектуального управления. Это повышает комфортность для населения, сокращает потребление электроэнергии, тепла, воды, стимулирует естественных монополистов к повышению своей эффективности. На базе дворцов школьников активно создаётся сеть детских технопарков и бизнес-инкубаторов со всей необходимой инфраструктурой, включая компьютеры, лаборатории, 3D-принтеры. Это помогает успешно интегрировать молодое поколение в научно-исследовательскую и промышленно-технологическую среду. Продолжается работа по развитию цифровых образовательных ресурсов, подключению к широкополосному Интернету и оснащению видеооборудованием наших школ.

Обновляются программы обучения в техническом и профессиональном образовании с привлечением работодателей и учетом международных требований и цифровых навыков. Продолжается реализация проекта «Бесплатное профессионально-техническое образование для всех». Государство дает молодому человеку первую профессию.

Пандемия COVID-19 повысила актуальность внедрения новых форм погтовки инженерных кадров. Поэтому в университетах Казахстана активней стали размещать видеоуроки и видеолекции от лучших преподавателей средних школ, колледжей и вузов. Это позволило всем казахстанцам, в том числе в отдаленных населенных пунктах, получить доступ к лучшим знаниям и компетенциям.

В высшем образовании увеличилось число выпускников, обученных информационным технологиям, работе с искусственным интеллектом и «большими данными». При этом следует развивается инженерная наука с приоритетом на исследования в металлургии, нефтегазохимии, АПК, био- и IT-технологиях.

Модернизация медицины обусловила внедрение электронных паспортов здоровья, переход на «безбумажные» больницы, внедрение в медицине технологий генетического анализа, искусственного интеллекта, которые на порядок повышают эффективность диагностики и лечения заболеваний.

Внедряя новые технологии, государство и компании обеспечивают надежную защиту своих информационных систем и устройств. Поэтому сегодня понятие кибербезопасности включает в себя защиту не просто информации, но и доступа к управлению производственными и инфраструктурными объектами. Эти меры нашли отражение в Стратегии национальной безопасности Казахстана.

Современные технологии дают эффективные решения проблем быстрорастущего мегаполиса. Внедряется модель комплексного управления городской средой на основе концепции «Смарт Сити» и развития компетенций людей, переселяющихся в город. «Smart City» – концепция интеграции информационных и коммуникационных технологий для управления городским имуществом. На основе анализа лучшего мирового опыта интеллектуальных систем мегаполисов можно выделить пять основных составляющих «умного» города в обобщенном виде:

– Smart Energy – решения в областях энергопоставки и энергосбережения [1].

– Программы управления спросом, энергоэффективности и интеграции возобновляемых источников энергии.

– Smart Water – управление водными ресурсами: модернизация водных систем, мониторинг потребления, системы экологической безопасности и управление наводнениями.

– Smart Buildings – здания, в которых все инженерные и информационные системы интегрированы в единую систему управления (BMS – building management system). Благодаря ей возможно межси-

стемное взаимодействие. Например, подготовка системы отопления здания к началу рабочего дня, управление мощностью работы вентиляционной установки в зависимости от температуры, количества людей в помещении и качества воздуха, автоматический переход в энергосберегающий режим при отсутствии в здании людей и так далее.

– Smart Government – использование информационных технологий для· предоставления государственных услуг широкому кругу лиц и оптимизации работы различных департаментов [2].

– Smart Transportation – интеллектуальные транспортные и логистические·системы. Мониторинг и управление трафиком, оплата дорожных сборов, реагирование на чрезвычайные ситуации, интеллектуальная парковка и интегрированное управление светофорами, построение «умных» сетей логистики [3]. Если конкретизировать, можно выделить некоторые более узкие компоненты системы интеллектуальных городов: Видеонаблюдение и фотофиксация;·Интеллектуальные транспортные системы (ИТС);·Единая система экстренного вызова (пример – «Система-112» в России);·Единая диспетчерская служба и ситуационные центры;·Интернет вещей (IoT); Пятое поколение мобильной связи (5G). Эти инструменты сбора и анализа информации используются для улучшения функционирования транспортной системы, медицины, промышленности, социальной сферы и других секторов, формирующих модель цифрового города [4]. Казахстанские исследователи предлагают свой список основных элементов, составляющих понятие «умного города». Формирование благоприятной среды для научной и инновационной деятельности, а также для развития информационно-коммуникационных технологий; Уровень развития системы интернет-бронирования мест временного·проживания [5]. Умное управление: Отлаженное функционирование системы коммуникации между жителями·города и представителями исполнительной власти, информационная открытость городской администрации; Уровень вовлеченности граждан в управление городом; Уровень развития документации стратегического планирования; Уровень посещаемости официальных веб-порталов городской·администрации. Умные финансы: Уровень развития систем банковского самообслуживания, в т.ч. количество и доступность банкоматов; Уровень прозрачности государственных закупок; Система оплаты проезда в общественном транспорте по безналичному·расчету [6]. Умная инфраструктура: Система автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения; Отлаженная работа интернет-сервисов для поиска, вызова и оплаты·такси; Возможность вести онлайн-мониторинг дорожного трафика и·общественного в режиме онлайн; Уровень развития сети заправочных станций для электромобилей; Сервис по

предоставлению услуг каршеринга; 19 Уровень развития информационных систем управления·градостроительства [7]. Умные жители: Активность и количество пользователей Всемирной сети; Применение электронных карт учащихся; Степень доступности информации о рынке труда в городе. Умная среда: Уровень развития систем мониторинга и предупреждения угроз·экологической безопасности; Участие горожан и администрации в устранении последствий·несанкционированного выброса мусора. Умные технологии: Уровень развития сетей бесплатного беспроводного доступа (общественные точки Wi-Fi, в т.ч. в городском транспорте); Функционирование сетей мобильного широкополосного доступа; Уровень развития сетей связи для услуг телеметрии [8]. Концепция Smart City очень привлекательна как для создания новых городов, так и для интеграции в уже существующие. Многие технологии достаточно сложны сами по себе, но их просто интегрировать и массово применять в проектах. Одной из наиболее актуальных для решения остаётся задача построения транспортной системы, поскольку полностью отказаться от обычного транспорта одномоментно невозможно. Необходимо кардинально изменить подход к вопросу, при этом одним из эффективных и рациональных способов решения могут стать тунельные переходы. В мире пришли к пониманию, что именно города конкурируют за инвесторов. Они выбирают не страну, а город, в котором комфортно жить и работать. Поэтому, на основе опыта Нур-Султана в республике формируется «эталонный» стандарт «Умный город» и начато распространение лучших практик и обмен опытом между городами Казахстана. «Умные города» станут локомотивами регионального развития, распространения инноваций и повышения качества жизни на всей территории страны.

Список литературы

1. Asin A. Smart Cities from Libelium Allows Systems Integrators to Monitor Noise, Pollution, Structural Health and Waste Management [Электронный ресурс]. URL: http://www.libelium.com/smart_cities/ (дата обращения: 11.02.2019).

2. Asin A., Gascon D. Smart Sensor Parking Platform Enables City Motorists Save Time and Fuel [Электронный ресурс]. URL: http://www.libelium.com/ smart_parking/ (дата обращения: 11.02.2019).

3. Baron S., Field J., Schuller T Social Capital: Critical Perspectives. Oxford: Oxford University Press, 2020.

4. Caragliu A., Del Bo C., Nijkamp P Smart Cities in Europe // Series Research Memoranda 0048 / VU University Amsterdam, Faculty of Economics, Business Administration and Econometrics, 2019.

5. Giffinger R., Fertner C., Kramar H., Kalasek R., Pichler-Milanovic N., Meijers E. Smart Cities - Ranking of European Medium-Sized Cities [Электронный ресурс]. URL: http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report. pdf (дата обращения: 11.02.2017).

6. Hollands R.G. Will the Real Smart City Please Stand Up? // City. 2018. Vol. 12, № 7. P. 303-320.

7. KomninosN. Intelligent Cities: Innovation, Knowledge Systems and Digital Spaces. N.Y: Routledge, 2020. 320 p.

8. Nijkamp P.E. Pluribus Unum // Research Memorandum, Faculty of Economics. Amsterdam: VU U

УДК 163.631

АНАЛИТИКО-ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОТАИВАНИЕ МЕРЗЛОГО ГРУНТА С УЧЕТОМ ТЕПЛООБМЕНА И ИЗМЕНЕНИЯ НАЧАЛЬНОГО УСЛОВИЯ
ANALYTICAL-NUMERICAL SOLUTION OF THE PROBLEM THAWING OF FROZEN SOIL CONSIDERING HEAT TRANSFER AND CHANGES IN THE INITIAL CONDITION

Мураталы Джузумалиевич Джаманбаев[1,2], Умут Джумагазыевна Душенова[1], Гулбара Кадыровна Кыштобаева[1]
Murataly Dzhuzumalievich Dzhamanbaev[1,2], Umut Dzhumagazyevna Dushenova[1], Gulbara Kadyrovna Kyshtobaeva[1]

[1]Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызская Республика, Бишкек
[1] Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakova, Kyrgyz Republic, Bishkek
[2]Инженерная академия Кыргызской Республики
[2]Engineering Academy of the Kyrgyz Republic
(e-mail: jamanbaevm@mail.ru, dushenova_u@mail.ru, gkyshtobaeva@mail.ru)

Аннотация. Рассматривается математическая модель задачи протаивания мерзлого грунта под основанием водоема с учетом теплообмена в зоне талого грунта и построение аналитико-численного решения. Полученные результаты сравниваются с результатами этой же задачи полученные без учета теплообмена.

Abstract. A mathematical model of the problem of thawing frozen soil under the base of a reservoir is considered, taking into account heat transfer in the zone of thawed soil, and the construction of an analytical-numerical solution. The results obtained are compared with the results of the same problem obtained without taking into account heat transfer.

Ключевые слова: мерзлый грунт, теплообмен, фронт таяния, суглинок, стационарный процесс, перенос тепла.

Keywords: frozen ground, heat transfer, melting front, loam, stationary process, heat transfer.

Для решения задачи протаивания мерзлого грунта под основанием водоема или хвостохранилища существуют разные математиче-

ские модели и методы ее реализации. Существуют работы [1, 2], которые данную задачу рассматривают как две разные области для талого и мерзлого грунта и с фазовым переходом между областями. Граница таяния/промерзания определяется из условия разности тепловых потоков, идущих со стороны талой и мерзлой зоны грунтов как решение задачи Стефана. Другие работы [3–6] данную задачу рассматривают, как задачу теплопереноса в заданной области под влиянием граничных условий. Подвижная граница таяния находится местоположением нулевой изотермы без учета фазового перехода.

В данной работе, в отличие от других работ математическая модель данной задачи строится с помощью уравнения теплопроводности с учетом теплообмена окружающей среды в талой зоне с соответствующими начально – краевыми условиями в одномерной постановке. Строится аналитическое решение задачи, состоящее из двух слагаемых, отражающее стационарную и нестационарную часть теплопереноса. При расчете значения температуры в различные моменты времени в различной глубине учитывается значение коэффициента теплообмена между скелетом грунта и талой водой в зоне талого грунта и не учитывается в зоне мерзлого грунта, как отсутствие теплообмена между грунтом и льдом, т.к. считаем значения температуры грунта и льда одинаковые.

Считаем водоем наполняется ранней весной и температура грунта на дневной поверхности равнялась +2°C и на глубине L = 30m. равнялась -2°C. Область мерзлого грунта представляет как песчаник с коэффициентом температуропроводностей равной $\alpha^2 = 0.00043\ м^2/с$ Затем водоем наполняется водой, температура которой равна +8°C. Требуется определить глубину таяния и время установление процесса таяния мерзлого грунта под основанием водоема под влиянием температуры воды в водоеме с учетом теплообмена в талой зоне.

Математически процесс моделируется уравнением в частных производных

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha^2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \beta(T(x,t) - \mathrm{T}_1), \quad 0 \le x \le L, \qquad t > 0, \tag{1}$$

граничными

$$T(0,t) = T_1; T(L,t) = T_2; \tag{2}$$

и начальным условием

$$T(x,0) = \varphi(x) = ax^2 + bx + c; \tag{3}$$

Здесь β – коэффициент теплообмена между водой и грунтом, T_1, T_2 – значения температуры на границах области, L – длина области.

Начальное условие формируется из данных наблюдений. Она схематически имеет вид

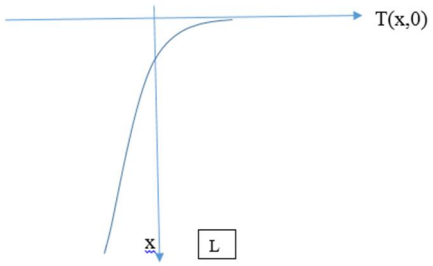


Рис. 1. Начальное условие температуры

Для построение аналитического решения математической модели (1) – (3) необходимо задание начальной условии в виде функциональной зависимости. Согласно рис. 1 начальное условие аппроксимировалась в виде одной ветви параболы (3).

Решение ищется в виде двух слагаемых, отражающее стационарную и нестационарную часть процесса таяния мерзлого грунта.

$$\mathrm{T}(x,t) = S(x) + \omega(x,t), \qquad (4)$$

где $S(x) = (T_2 - T_1)\frac{x}{L} + T_1$ – стационарное решение, удовлетворяющее граничным условиям (2), $\omega(x,t)$ – неизвестное нестационарное решение с нулевыми граничными условиями неоднородного уравнения.

$$\omega_t = \alpha^2\omega_{xx} - \beta(S(x) + \omega(x,t) - T_1) \qquad (5)$$

Решение уравнении (5) ищем в виде аналога ряда Фурье

$$\omega(x,t) = \sum_{i=1}^{n} T_n(t)\, sin\frac{\pi n}{L}x,$$

$$S(x) - \mathrm{T}_1 = (T_2 - T_1)\frac{x}{L} = \sum_{i=1}^{n} f_n(t)\, sin\frac{\pi n}{L}x$$

Коэффициенты разложения находятся как решение уравнения

$$T_n'(t) = -(\left(\frac{\pi n}{L}\alpha\right)^2 + \beta)T_n(t) = -\beta f_n(t), \qquad (6)$$

где

$$\mathrm{f_n} = \frac{2}{\mathrm{L}}\int_0^{\mathrm{L}} (\mathrm{T_2}\text{-}\mathrm{T_1})(\frac{\mathrm{x}}{\mathrm{L}}) * \sin\frac{\pi \mathrm{n}}{\mathrm{L}}\mathrm{xdx} = \frac{2}{\pi \mathrm{n}}(\mathrm{T_1}\text{-}\,\mathrm{T_2}(-1)^{\mathrm{n}})$$

$$T_n(t) = -\frac{2\beta}{\pi n}\frac{(T_1 - T_2(-1)^n)}{(\beta + (\frac{\pi n}{L}\alpha)^2)} + C_1 e^{((\frac{\pi n}{L}\alpha)^2 + \beta)t} \qquad (7)$$

Аналитическое решение нестационарного процесса таяния мерзлого грунта имеет вид:

$$\omega(x,t) = \sum_{i=1}^{n} T_n(t)\, sin\frac{\pi n}{L}x$$

$$= \sum_{i=1}^{n}\left[-\frac{2\beta}{\pi n}\frac{(T_1 - T_2(-1)^n)}{(\beta+(\frac{\pi n}{L}\alpha)^2)} + C_1 e^{((\frac{\pi n}{L}\alpha)^2+\beta)t}\right] sin\frac{\pi n}{L}x$$

Удовлетворяя граничные и начальное условие с учетом (4) аналитическое решение математической модели (1) – (3) запишется

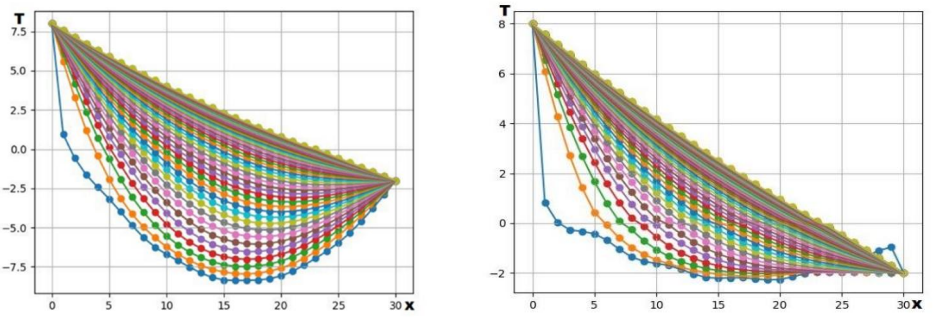
$$T(x,t) = \left[(T_2 - T_1)\frac{L}{L} + T_1\right] + \sum_{i=1}^{n}\left[-\frac{2\beta}{\pi n}\frac{(T_1 - T_2(-1)^n)}{(\beta+(\frac{\pi n}{L}\alpha)^2)} + (A_i + C_i e^{((\frac{\pi n}{L}\alpha)^2+\beta)t})\right] sin\frac{\pi n}{L}x; \quad (8)$$

$A_i = -2\beta(T_1 + 2.0)(-1)^i/((\pi\ i/L)^3(T_2 - T_1) + \beta),\ C_i = (-2aL^2 - 2L(b - (T_2 - T_1))/(\pi\ i(-1)^i + 4aL^2/(\pi\ i)^3$

Количество слагаемых в решении (8) определялась из условия сходимости ряда Фурье с заданной точностью 0.0003 и оказалась равной n =23 слагаемых. На рис.2. показано ход изменение температуры грунта под основанием водоема в разные моменты времени при разных начальных условиях

$$T(x,0) = \varphi(x) = ax^2 + bx + c = 0.0369x^2 - 1.2392x + 2{,}0 \quad (9)$$

$$T(x,0) = \varphi(x) = ax^2 + bx + c = 0.01033x^2 - 0.3682x + 2.0 \quad (10)$$



(а) *(б)*

Рис.2. Значение температуры по глубине до установления процесса

Как видно из графика начальное условие (9) меняется по глубине до 30м. от +8°С доходя до –8°С и на конце границы принимает значение –2°С (*а*), а начальное условие (10) меняется от +8°С и до –2°С (*б*). В

обоих случаях процесс таяния останавливается под влиянием температуры воды в водоеме равной +8°С почти через 7.07 лет доходя до 23 м., а через 8.06 лет глубина таяния становится одинаковыми доходя до 23.2 м. Такой результат получается благодаря аналитического решения. При численном решении точность результатов зависят от точности аппроксимации производной по времени и по координате и потребует длительного машинного времени. При долгосрочном прогнозе глубина таяние независимо от начального условия становится одинаковыми и останавливается, а в начальные моменты значительно различаются.

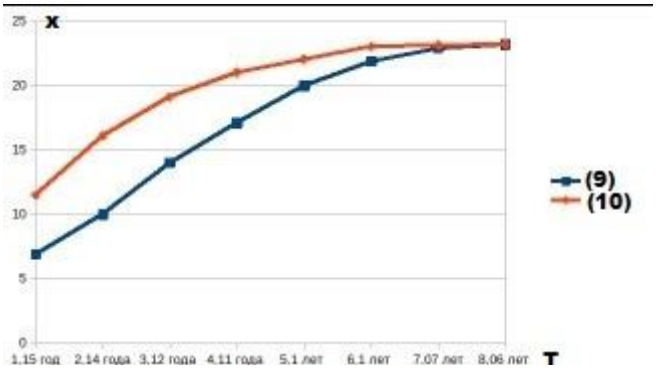


Рис.3. Глубины таяния для начальных условий (9), (10)

На рис. 3 показан ход изменения глубины таяния до установления процесса таяния для различных случаев начальных условий. Как видно из результатов расчета, скорости таяния в начальные моменты времени значительно отличаются и начиная после длительного времени они становятся одинаковыми и доходят до 23.2 метра за 8.06 лет.

Выводы. Результаты расчета показывают, что при долгосрочном прогнозе процесс таяния мерзлого грунта под влиянием температуры воды в водоеме (+8°С) почти не зависит от начального условия и останавливается через 8.06 лет доходя 23.2.м. В начальные моменты времени, как видно из графика на рис. 3, результаты расчета отличаются, но с течением длительного времени они становится почти одинаковыми.

Список литературы

1. Соболь, С.В. Температурный режим гидротехнических сооружений в криолитозоне [Электронный ресурс]: учеб. пос. для студентов вузов /С.В. Соболь, И.С. Соболь; Нижегород. гос. архитектур.- строит. ун-т.– Нижний Новгород: ННГАСУ, 2017. – 402 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-5-528-00181-4

2. Джаманбаев М.Дж., Душенова У.Дж., Турсункулова З.С. Определение глубины таяния мерзлого грунта под основанием пруда

хвостохранилища//Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова № 29, 2013г. С.239-242.

3. Галкин А. Ф., Курта И. В. Влияние температуры на глубину оттаивания мерзлых пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 2. – С. 82–91.

4. Назарова Л.А., Назаров Л.А., Джаманбаев М.Д., Чыныбаев М.К. Моделирование процесса тепломассопереноса в окрестности гидротехнических сооружений в криолитозоне. ГИАБ. 2015. № 9. С. 373-379.

5. Nazarova L.A., Nazarov L.A., Jamanbaev M.D., Chynybaev M.K. Modeling heat and mass transfer processes in the vicinity of waterside structures in cryolite zone // Reports of the XXIII International Scientific Symposium «Miner's Week – 2015» 26-30 January, 2015. P. 35-40.

УДК 551.32; 913.1

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ В СНИЖЕНИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПУЛЬСАЦИЙ ЛЕДНИКА МЕДВЕЖИЙ В ТАДЖИКИСТАНЕ
THE ENGINEERING SOLUTIONS IN GEOECOLOGICAL RISK REDUCTION FROM MEDVEZHII GLACIER'S SURGES IN TAJIKISTAN

Каримов Фаршед Хилолович[1,2], Абдусаматов Мунимджон Абдусаматович[1,3], Саидмуродов Лютфилло Хабибуллоевич[1,4], Латифзода Рустам Барот[5]
Karimov Poled Khilolovich1[2], Abdusamatov Munimjon Abdusamatovich[1,3], Saidmurodov Lutfillo Habibulloevich[1,4] Latifzoda Rustam Barot[5]

[1] Инженерная академия Республики Таджикистан
[1]Engineering Academy of the Republic of Tajikistan
[2]Таджикский национальный университет – ТНУ, Таджикистан, Душанбе
[2]Tajik National University – NNU, Tajikistan, Dushanbe
(e-mail: seismtadj@rambler.ru)
[3]Институт водных проблем энергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан
Institute of energetical problems and ecology of the National academy of sciences of Tajikistan, Tajikistan, Dushanbe
(e-mail: abdusamadm@rambler.ru)
[4]Институт экономики и демографии Национальной академии наук Таджикистана, Таджикистан, Душанбе
Institute of economics and demography of the National academy of sciences of Tajikistan, Tajikistan, Dushanbe
(e-mail: lsaidmuradov@rambler.ru)
[5]Комитет по вопросам аграрных, земельных и водных ресурсов Парламента Республики Таджикистан
The Committee on agrarian, water and land resources issues of the Parliament of the Republic of Tajikistan
(e-mail: apt.tj@mail.ru)

Аннотация: Представлено описание современного состояния района пульсаций ледника Медвежьего на Памире в Таджикистане, в результате которых происходит запруда реки Абдукахор, наполняется

озеро с объёмом до 20 млн. куб. м с опасными последствиями прорыва дамбы и возникновения наводнений и селей в районе Ванчской долины Горно-Бадахшанской области Республики Таджикистан, и предложено несколько инженерных принципиальных вариантов снижения геоэкологического риска для населения и территории этого района.

Abstract: A description is presented of the current state of the area of the Medvezhiy glacier's surging in the Pamirs in Tajikistan, as a result of which the Abdukakhor River is damming, a lake with a volume of up to 20 million cubic meters filled with dangerous consequences of a dam break and the occurrence of floods and mudflows in the area of the Vanch Valley of the Gorno-Badakhshan Autonomous Region of the Republic of Tajikistan, and several principal engineering ways for the geoecological risk reduction for the population and territory of this area have been proposed.

Ключевые слова: ледник Медвежий, пульсации ледника, геоэкологический риск.

Keywords: Medvezhii glacier, surging glaciers, the geoecological risk.

Ледник Медвежий расположен на северо-западном Памире на высотах от 3000 м до 4800 м, на западном склоне хребта Академии наук. Общая площадь ледника составляет 25 кв. км, длина – около 15 км [1-6]. Ледник относится к типу горно-долинных, пульсирующих в среднем с интервалом времени 10-14 лет. Это наиболее изученный пульсирующий ледник в Таджикистане, его подвижки происходили в 1916, 1937, 1951, 1963, 1973 гг. Обычно он движется по склону вниз со скоростью около 1 м/сутки, но во время пульсаций он проходит 50-100 м в сутки. Самая большая скорость пульсации ледника Медвежий – 500 м/сутки – произошла в 1951 г. [6]. Пульсации представляют большую опасность для населения и территории Ванчской долины тем, что в результате них перегораживается русло р. Абдукахор и возникает запрудное озеро, максимальный объём которого в отдельные годы достигает около 20 млн. $м^3$. Дамба далее разрушается, что приводит к прорыву озера, наводнениям, селям и оползням в Ванчской долине.

Сведения о подвижках ледника Медвежий, происходивших в прошлом, содержатся в исторических летописях и в рассказах очевидцев, передающихся из поколения в поколение. Современный этап систематических наблюдений начался после крупной пульсации, произошедшей 24 апреля 1963 г. Язык ледника продвинулся со средней скоростью 50 м/сутки на расстояние 1750 м, образовалась ледяная дамба высотой 160 м. К середине июня глубина запрудного озера составила 80 м, а объём – 14,5 млн. $м^3$ [2].

Многолетние наблюдения показывают, что подвижкам ледников предшествуют периоды подготовки. В пределах морфологического контура в результате поступления из зоны питания снега и льда накапливается масса ледника и после достижения критических её значений и предельных нагрузок на ложе происходит его скольжение путём пульсации [2]. Моделирование динамики пульсирующих ледников показывает, что возникновение пульсаций следует одному из известных природных законов – «Куб-Квадрат» [7]. В некоторой части языка ледника, например, в зоне сужения трога или углубления горного склона за счёт поступления снега и льда из зоны питания накапливается ледовая масса. Масса ледового тела и, соответственно, составляющая гравитационной силы, направленная вниз вдоль поверхности горного склона, пропорциональны кубу его линейных размеров. Сила, удерживающая массу на склоне, как сила трения и сцепления тела с ложем горного склона, пропорциональна площади поверхности их контакта. Фактор поверхности, пропорциональный квадрату средних линейных размеров тела, пока размеры его относительно малы, превосходит кубический, объёмный фактор, в силу очевидной математической закономерности: квадрат некоторого числа, меньшего единицы, больше его куба, и, наоборот, квадрат числа меньше его куба, если число больше 1. При достижении некоторой критической массы происходит подвижка тела – пульсация.

Современные методы снижения риска пульсаций ледника Медвежий включают в себя несколько направлений, входящих в систему специальных мероприятий: мониторинг состояния, в том числе космический [4] и наземный [5, 8, 9], паспортизация и составление базы данных в виде атласа и каталога пульсирующих ледников [1, 2], исследования закономерностей развития, подготовки и пульсирования [2, 4-7], развитие методов прогнозирования пульсаций [2, 4, 5, 10], разработка эффективных мероприятий по инженерной защите от опасных последствий подвижек [12], развитие законодательной базы по охране ледников [13-15]. Цель настоящей статьи – представить несколько вариантов по снижению экологического риска от запруды р. Абдукахор и возникновения запрудного озера.

Рассмотрим несколько вариантов создания инженерных защитных сооружений для снижения экологического риска в районе возникновения запруд на р. Абдукагор, вызванного пульсациями ледника Медвежий, и запрудного озера. Вариант создания подземного канала из железобетонных труб описан в работе [12]. В верхнем бьефе, до плотины, созданной пульсацией ледника Медвежий, оборудуется водозаборная шахта высотой в несколько метров от поверхности дна р. Абдукахор на глубину 2-3 м. Самотёчный, наклонный к горизонту канал длиной 3 км

пробивается на глубине 2-3 м вдоль поймы этой реки, и он, т.о., будет проходить под ледовой плотиной. Предполагается, что при максимальном пропуске воды канал будет заполнен на 2/3, скорость потока – до 2 м/с при уклоне 1:1000. Стоимость земляных работ по проводке канала в песчано-галечниковых отложениях существенно снижается по сравнению со стоимостью работ в плотных, скальных породах. Однако необходимо предусмотреть меры по укреплению портальных зон туннеля в песчано-галечниковых породах. Кроме того, проходка канала под руслом реки, в песчано-галечниковых отложениях потребует принятия мер по исключению фильтрации поверхностных вод и обеспечению необходимой надёжности и безопасности этого сооружения, что существенно увеличит стоимость работ.

Второй вариант по предотвращению заполнения воды при запруде р. Абдукахор – это прорубка коридора путём проведения взрывных работ вдоль её русла в периоды, когда объём тела плотины минимален. В это время после прочистки русла от запруды укладываются несколько труб, и они покрываются грунтом. Прокладка нескольких труб вместо одной большого диаметра, очевидно, придаст большую прочность конструкции. Диаметры труб определяются необходимой пропускной способностью канала для обеспечения скорости потока до 2 м/с при уклоне 1:1000. Можно ожидать, что в этом варианте финансовые затраты будут меньшими по сравнению с прокладкой подземного туннеля и будут обеспечены большая безопасность проведения земляных работ и надёжность сооружения.

Третий вариант также предусматривает сброс воды из верхнего бьефа: строится деривационный канал из достаточно прочного, толстого оцинкованного железа, или стальных труб. Он должен проходить по поверхности левобережья р. Абдукахор. Для этого не требуется проведения взрывных работ, но необходимо применение специальных конструкций для крепления труб водопровода на крутом горном склоне поверхности левобережья. Толщина труб может быть существенно ниже толщин труб, прокладываемых подземным способом, т.к. в первом случае нет давления со стороны грунтов. Нам представляется, что приведённые характеристики конструкций этого третьего предложенного варианта будут значительным преимуществом как в финансовом, так и в материальном отношениях.

Безусловно, для практического применения представленных здесь трёх вариантов по снижению экологического риска от запруды р. Абдукахор и возникновения запрудного озера необходимы дальнейшие детальные исследования, расчёты и проектирование. Полевые наблюдения, выполненные в августе 2021 г., убедительно показали, что русло

р. Абдукахор находится в частично запруженном состоянии, высота запруды составляет порядка 10 м, вода реки просачивается сквозь запруду и заполнения озера пока не происходит [11]. Со времени, прошедшего после последней подвижки ледника Медвежий в 2011 г., прошло 11 лет. Поэтому, учитывая, что средняя периодичность пульсации равна 10-14 лет, можно констатировать, что в настоящее время риск дальнейшей, интенсивной запруды р. Абдукахор с опасными экологическими последствиями высок и требуется усиление экологического мониторинга.

Таджикистан отличается высокой степенью уязвимости к таким последствиям изменений климата, как засухи, наводнения, оползни и т.д. [16]. Предполагается, что к 2050 г. до одной трети ледников в Центральной Азии полностью исчезнет, что резко повысит риск внезапных наводнений от прорыва ледниковых озёр. Для сельскохозяйственного сектора страны, в котором занято почти 60% населения, такие катастрофы особенно опасны. Восстановление объектов и ликвидация последствий стихийных бедствий требуют больших финансовых затрат, человеческих ресурсов и времени. Например, в 2015 г. высокие температуры вызвали массовые ледниковые наводнения и селевые потоки, при которых были повреждены некоторые важнейшие объекты инфраструктуры, и пришлось эвакуировать более 10 000 человек. Более чем 80% пострадавших остались без электричества [17]. В период с 1992 по 2016 гг. по всей стране также наблюдалась череда крупных бедствий, что в совокупности привело к экономическим потерям более $1,8 млрд. [18].

Вопросы глобального изменения климата, как серьезной проблемы современного мира и, соответственно, необходимость совместных усилий для устранения его последствий, находятся в центре внимания Правительства Республики Таджикистан, как страны, особенно подверженной природным, экологическим и финансовым катаклизмам. Поэтому расширение процессов мониторинга, как одна из важных превентивных мер в системе принятия комплекса управленческих и инженерных решений, сегодня заложено в стратегических документах развития страны, в том числе, в «Национальной Стратегии развития Республики Таджикистан на период до 2030 года» (Постановление Парламента Республики Таджикистан от 28.12.2016, №678), «Стратегии развития зеленой экономики в Республике Таджикистан на 2023-2027 годы» (Постановление Правительства Республики Таджикистан от 30.09.2022, № 482) [14].

Принятие Генеральной Ассамблеей ООН в 2022 г. по инициативе Республики Таджикистан Резолюции об объявлении 2025 года «Между-

народным годом защиты ледников» и 21 марта – «Всемирным днём ледников» [15], будет способствовать дальнейшему совершенствованию законодательных основ по обеспечению устойчивого развития и активизации международного сотрудничества в этой жизненно важной сфере в эпоху глобального потепления климата. В соответствии с данной резолюцией, в рамках ООН создается Целевой международный фонд по вопросам сохранения ледников и в 2025-м г. по этой тематике в г. Душанбе пройдёт конференция высокого уровня ООН, на которой свёрнутые в последние годы дискуссии в области мониторинга пульсирующих ледников, несомненно, должны активизироваться.

Выводы

Представлены данные о современном геоэкологическом состоянии района пульсаций ледника Медвежий в Таджикистане. Полевые наблюдения, выполненные в августе 2021 г., убедительно показали, что русло р. Абдукахор находится в частично запруженном состоянии. Предложены три варианта по снижению экологического риска в этом районе. Поскольку со времени, прошедшего после последней подвижки ледника Медвежий в 2011 г., прошло 11 лет, а средняя периодичность пульсации равна 10-14 лет, в настоящее время риск дальнейшего интенсивного закрытия р. Абдукахор с опасными экологическими последствиями высок и требуется усиление экологического мониторинга этого района.

Список литературы

1. Соколов Л.Н. Пульсирующие ледники и ледниковые катастрофы. Таджикистан. В кн.: Природа и природные ресурсы. Отв. ред. Х.М. Саидмуродов, К.В. Станюкович. Душанбе: “Дониш”. 1982. С. 294-302.

2. Долгушин Л.Д., Евтеев С.А., Кренке А.Н., Рототаев К.П., Сватков Н.М. О периодических быстрых подвижках ледников и недавнем продвижении ледника Медвежий на Памире // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1964. № 5. С. 30-39.

3. Дильмурадов Н. Пульсация ледника Медвежьего на Западном Памире // Докл. АН Тадж. ССР. 1989. Т. 21. №9. С. 615-616.

4. Осипова Г.Б., Цветков Д.Г., Щетинников А.С., Рудак М.С. Каталог пульсирующих ледников Памира // Материалы гляциологических исследований. 1998. Вып. 85. С. 3-136.

5. Осипова Г.Б. Пятьдесят лет исследований института географии РАН на леднике Медвежьем, Западный Памир // Лёд и снег. 2015. №1(129). С. 129-140.

6. Котляков В.М., Чернова Л.П., Хромова Т.Е., Муравьев А.Я., Качалин А.Б., Тюфлин А.С. Уникальные циклические пульсации ледника Медвежий // ДАН. 2018. Т. 483. № 5. С. 547-552.

7. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Пульсирующие ледники. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 192 с.

8. Каримов Ф.Х. Моделирование медленно движущихся и пульсирующих ледников // Вестник Национального университета Таджикистана, Серия естественных наук. 2015. №1 (168). С. 260-266.

9. Котляков В.М., Осипова Г.Б., Цветков Д.Г. Космический мониторинг пульсирующих ледников Памира // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 4. С. 74–83.

10. Каримов Ф.Х. Методы прогнозирования динамики пульсирующих ледников // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: материалы 9-й Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК–2015», т. 1. Отв. ред. В.И. Осипов. М.: РУДН. 2015. С. 248-255.

11. Каримов Ф.Х. Пульсирующий ледник Медвежий в Таджикистане: состояние на август 2021 г. // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии, гидрологии и разработки месторождений полезных ископаемых Таджикистана и сопредельных территорий». Душанбе: ТНУ. 2022. С. 288-296.

12. Гуломов М.Н. Инженерно-геологические исследования территории Ванчской долины в целях инженерной защиты (Республика Таджикистан). Дисс. канд. геол.-мин. н. Душанбе: ТНУ, 2020, 184 с.

13. Абдусаматов М.А., Нуралиев К.Н., Латифов Р.Б. Водные ресурсы Таджикистана: инициативы, ситуация и перспективы. Душанбе: «Азия-Принт», 2011, 220 с.

14. Саидмуродов Л.Х. Республика Таджикистан в системе современных мирохозяйственных связей: модель малой открытой экономики. Душанбе: Дониш, 2021. 414 с.

15. Решение Сессии ООН от 13 октября 2022 г. по устойчивому развитию. A/C.2/77/17. Нью-Йорк, 2023.

16. Пильгуй Ю.Н., Саидов М.С., Хамидов А.Ш., Шакирджанова Г.Н. Ледники Таджикистана в условиях изменения климата. Душанбе: НИЦ Агентства по землеустройству, геодезии и картографии при Правительстве Республики Таджикистан, 2008. 116 с.

17. Укрепление инфраструктуры в Таджикистане для смягчения последствий стихийных бедствий и изменения климата. https://www.vsemirnyjbank.org/ru/news/feature/2017/09/04/strengthening-infrastructure-in-tajikistan-for-disaster-and-climate-resilience

18. Оценка экономических последствий бедствий на основных коридорах. Отчёт Всемирного Банка, 2021. Вашингтон, 140 с.

УДК 658.52.001.63

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ
MODELS AND ALGORITHMS OF MANAGEMENT AND PLANNING OF PRODUCTION SYSTEMS

Иброхимали Холмаматович Норматов[1,2]
Каландаров Ильес Ибодуллаевич[3]
Ibrohimali H. Normatov[1,2], Ilyes I. Kalandarov[3]

[1]Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека, Узбекистан, Ташкент
[1]National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Uzbekistan, Tashkent
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering
(e-mail: ibragim_normatov@mail.ru)
[3]Навоийский государственный горный институт
[3]Navoi state university of mining and technologies
(e-mail: ilyos1987@mail.ru)

Аннотация. В статье излагаются теоретические основы алгоритмизации управления производственными системами (ПС) на основе их стандартного описания для создания алгоритмических моделей управления, используемых при управлении инструментальным цехом. Дается анализ процессов решения задач при построении алгоритма управления ПС. Предлагается описание процесса решения задачи оперативного управления инструментальным цехом на основе алгоритмического подхода, дается модель построения алгоритма управления ПС. В автоматизированной системе оперативного управления инструментальным цехом используются метод сетевого планирования и двухуровневая система приоритетов - приоритетов заказов и операций.

Abstract: The article presents the theoretical foundations of the algorithmization of production systems (PS) control based on their standard description for creating algorithmic control models used in tool shop management. An analysis of the processes of solving problems in the construction of a control algorithm for PS is given. A description of the process of solving the problem of operational management of a tool shop based on an algorithmic approach is proposed, and a model for constructing a control algorithm for the PS is given. The automated system for the operational management of

the tool shop uses the network planning method and a two-level system of priorities - the priorities of orders and operations

Ключевые слова: производственный процесс, локальная система, таблицы функционирования, производственные системы, оперативная управления, информационная модель, метод сетевого планирования, рабочие места, приоритеты заказов, оптимальная загрузка оборудования, технологический цикл механообработки, внешние факторы.

Keywords: production process, local system, functioning tables, production systems, operational management, information model, network planning method, jobs, order priorities, optimal equipment loading, machining cycle, external factors.

Система управления обычно представляет собой трехуровневую систему, реализующую функцию проектирования (планирования) и управления производственным процессом [1].

Верхний уровень – организационно-оперативное управление – формирует производственные задания для конкретных локальных систем управления программным оборудованием. На этом уровне строятся все необходимые стационарные таблицы функционирования (ТФ) производственной системы (ПС) [1]. Стационарные ТФ детализируются и преобразуются в динамические ТФ управляющих мониторов для каждого рабочего места (РМ).

Второй уровень - локальное управление на основании стационарных ТФ – загружает в управляющие мониторы соответствующие технологические циклы (ТЦ), а затем инициирует процесс запуска РМ в соответствии с эталонными стационарными ТФ и осуществляет контроль над выполнением операций по заданным управляющим монитора ТФ.

Нижний уровень представляет собой управляющие мониторы в виде автоматов с магазинной памятью. На данном уровне осуществляется последовательное выполнение операций по заданному управляющему монитору динамической ТФ.

Рассмотрим модель управления ПС. Отношение вида R: D, где R - множество рабочих мест, а D - множество партий деталей, полученные в результате построения динамической таблицы функционирования, является составной частью более широкого отношения R: D: O. В силу транзитивности всех отношений можно построить следующее преобразование ТФ:

$$R : D \to D : O \to O : U \ ,$$

где U={УП} управляющая программа.

Следовательно, такое последовательное преобразование R: U осуществляется на верхнем уровне управления, когда при планировании

производственного процесса мы получаем ТФ с отношением вида *R*: *D*, а стационарные ТФ с отношениями вида *D*: *O* и *O*: *U* получаются в результате работы алгоритмов технологической подготовки производства. При построении динамических ТФ с отношением *R*: *D* будем использовать схему, представленную на рис. 1.

Рис. 1. Схема построения динамических ТФ с отношениями вида *R*: *O* и *R*: *U*.

Анализ ТФ на допустимость решения основан на разрешении двух уравнений в матричном виде:

$$\overline{Y_1} = Y_1 + A \cdot \chi, A\bar{W} = 0 \qquad (1)$$

На основе анализа уравнения (1) определяется существование нетривиальной фундаментальной системы решения для ТФ, заданной в виде матрицы *A*. Матрица *A* получается из матриц A^+ и A^-, описывающих ТФ, и связана с ними отношением $A = A^+ - A^-$. Нахождение системы векторов W означает сохранение ТФ при разметке одним из векторов. Здесь в качестве вектора Y используется начальное состояние ТФ, χ – вектор выполненных операций, A – ТФ в представленной матричной ферме, $\bar{Y}_1$ – конечное состояние ТФ.

Решение уравнений опирается на описанные в работах [2] методов линейной алгебры. При определении ограничений на пропускную способность ТФ произведем нормирование, вычислим верхнюю и нижнюю границы позиций, определяющих материальный поток в ТФ: $t_k,\ a_{ij} \le \chi_{ij} \le t_k,$ где χ_{ij} – нормированное значение позиции в t_k-й интервал времени; a_{ij} - значение i-й позиции для j-й операции в ТФ.

Преобразование в сетевую модель производим следующим образом:

$$F(\chi) = \sum_{k=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \left[\left(c_{2j}^{k} - c_{1j}^{k} \right) x_{2j}^{k} + c_{1j}^{k} b_{j}^{k} \right] \to \min,$$

где c_{2j}^{k} – стоимость спроса *k*-го продукта для *j*-го узла,

c_{1j}^{k} – стоимость предложения *k*-го продукта *j*-го узла,

x_{ij}^{k} – поток *k*-го продукта из *i*-го узла в *j*-й узел,

b_{j}^{k} – спрос *j*-го узла для *k*-го продукта, при условии, что

$$\sum_{k=1}^{m} x_{2j}^{k} + S_{1j} = U_{2j}, \sum_{j=1}^{n} x_{1j}^{k} = -a_{2}^{k},$$

$$\sum_{j=1}^{n} \left(U_{2j} - S_{2j} \right) = \sum_{j=1}^{m} a_{2}^{k}, j, k$$

где a_{2}^{k} - предложения *j*-го узла для *k*-го продукта, $\chi_{2j}^{k} + \chi_{1j}^{k} = b_{ij}^{k}$

$$S_{2j} + S_{1j} = U_{2j} + U_{1j} - \sum_{k=1}^{m} b_{j}^{k},\ \chi_{ij}^{k},\ S_{ij} \ge 0,\ i = 1,2,\ j = \overline{1,n},\ k = \overline{1,\infty},$$

или

$$\chi_{2j} \le \chi_{ij}^{k},\ S_{2j} \le U_{2j} + U_{1j} - \sum_{k=1}^{m} b_{j}^{k}.$$

Решение данной сетевой модели может быть получено одним из методов [2] решения задачи максимального потока.

Таким образом, ТФ с отношениями *R*: *D* и *R*: *O* дают нам основную исходную технологическую информацию, необходимую для управления программным оборудованием. На локальном уровне управления динамические ТФ с отношением *R*: *U* загружаются в управляющие мониторы в порядке, предписанном стационарной ТФ с *R*: *U*. Контроль за выполнением операций обработки осуществляется по стационарной ТФ с *R*: *O*.

Подача полуфабрикатов на линии со склада, транспортирование и складирование готовой продукции синхронизируется и контролируется локальными системами управления транспортом и складом на основе двух стационарных ТФ с отношениями *R*: *D* и *R*: *O*. На нижнем уровне находятся управляющие мониторы, каждый из которых работает по своей динамической ТФ *C*: *U*.

В случае, если сигнал окончания операции не поступает в локальную систему управления, то в ТФ производится отметка о неисправности РМ и производится анализ ТФ на возможность дальнейшего функционирования сложных систем (СС). Для этого делается переразметка ТФ, и решается уравнение достижимости конечного состояния сети. Для определения неисправности конкретного РМ в ТФ имеются контрольные точки (специальные контрольные операции). Для определения состояния FM в текущий момент времени t_m определяется тип структуры между контрольными точками.

Рассматриваются три типа структур: последовательная, параллельная и последовательно-параллельная.

Для каждого типа существует задержка по времени непоступления сигнала завершения операции.

Для последовательной структуры соединения РМ $t_m = (n-i)\cdot t_r$ где n – число последовательно соединенных РМ; t_r – ритм работы системы; i – номер операции неисправного РМ.

Отсюда следует $t = (n - t_m) \bmod(t_r)$. Для параллельной структуры время задержки $t_m = i \cdot \Delta t$ где, $\Delta t = t_r / m$, m – число параллельно соединенных РМ.

Отсюда имеем $i = \left[t_m / \Delta t\right]$. Для последовательно-параллельной структуры $t_m = (n-i)t_r + \Delta t \cdot i$. Тогда $i = \dfrac{t_m - n \cdot t_r}{\Delta t - t_r}$.

После определения номера неисправности РМ и последующего анализа на достижимость в случае, если конечное состояние между контрольными точками не достижимо, принимается решение о блокировке цепи РМ и замене неисправного РМ резервным.

Рассмотрим процесс построения стационарных ТФ с заданными отношениями *R*: *O* и *R*: *U*. Процесс построения ТФ с заданным отношением основан на алгоритмах синтеза комплексов из отдельных элементов. В нашем случае имеется три множества: $R = \{r_i\}$, $D = \{d_e\}$ и $O = \{o_j\}$ где r_i, d_e, o_j – рабочие места, детали и

операции соответственно. На каждом РМ можно выполнять определенную группу операций и, следовательно, $d_e : \{O_k^l\}$.

В свою очередь, для изготовления детали требуется выполнить определенную последовательность операций и, следовательно, $d_e : \{O_k^l\}$.

Таким образом, заданные отношения *R*: *O* и *D*: *O* в общем случае не совпадают; более того, отношение *R*: *O* не является упорядоченным. В связи с этим установление упорядоченного отношения *R*: *O* тесно связано с задачей установления отношения *D*: *R*. Установить это отношение позволяет алгоритм синтеза. Рассмотрим три основных случая, которые описывают все процессы синтеза:

1. Пусть для некоторого подмножества $D_i = \{d_e\}$ и соответствующего ему $R_k = \{r_i\}$ выполняется условие $\{O_k^l\} \bigcap \{O_m^i\} = \{O_k^l\}$. Это означает, что любая деталь может быть обработана на рабочем месте полностью, и этот тривиальный случай нет необходимости рассматривать; заметим только, что в этом случае многие детали обрабатываются на одном рабочем месте.

2. Пусть D_i и R_k не пересекаются на множестве операций *O*, т.е $\{O_k^l\} \bigcap \{O_m^i\} = \varnothing$, тогда процесс может быть остановлен, и в этом случае подмножество D_i и является тем разбиением на множестве *R* по операции O_k^l.

3. Пусть D_i и R_k частично пересекаются по операции:

$$\{O_{1n}^l\} = \{O_{ok}^l\} \bigcap \{O_{om}^i\}, \text{ где } O_{1n}^l, O_{ok}^l, O_{om}^l \in O,$$

тогда для установления отношения можно использовать алгоритм синтеза комплексов РМ.

Ввиду того, что множества *D*: *O* конечны (на практике число рабочих мест достигает несколько тысяч), и заданы отношения для каждого элемента d_e и r_i по операции O_k, можно решать в такой системе задачу, поставленную следующим образом: $\exists\phi$ такое, что $(d_1,...,d_m) \xrightarrow{\phi} (r_1,...,r_m)$.Алгоритм поиска решения задачи описывается так: находим такое множество рабочих мест, $R_i = \bigcup_{i=1}^{k} r_i$, которое покрывает максимальное число операций из d_1; проверяем на пустоту пересечение подмножеств $\{O_{1k}^l\} \bigcap \{O_{1m}^i\}$.

Если пересечение не пусто, тогда получаем подмножество $\{O^l_{2k}\} = \{O^l_{1k}\}$, $\{O^i_{1m}\}$ и переходим к выполнению пункта 1. Если пересечение пусто, то происходит остановка алгоритма. При этом получаем следующую последовательность подмножеств операций:

$$\{O^l_{3k}\} = \{O^l_{2k}\}, \quad \{O^i_{2m}\}$$

$$\ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\{O^l_{nk}\} = \{O^l_{n-1k}\}, \quad \{O^i_{n-1m}\}$$

$$\{O^l_{n+1k}\} = 0$$

Построенная по вышеприведенному алгоритму ТФ с отношением *D: R, O* для операций обработки содержит, в свою очередь, исходные данные для синтеза ТФ с таким же отношением для операций транспортировки. Алгоритм синтеза в этом случае упрощается, так как для каждого транспортного средства существует всего одна операция - операция транспортировки *O*.

В этом случае устанавливается соответствие между *R* и *D* по *O*. Описанная выше алгоритмическая модель решения задач проектирования и управления СС позволяет осуществить проектирование (планирование) процесса управления СС и управление программным оборудованием. Такая схема позволяет гибко и без дополнительных затрат на разработку новых программных средств управлять объектом с учетом воздействия внешних факторов на производственную систему, в частности на ход производственного процесса.

Главная цель функционирования системы оперативного управления - организовать согласованное во времени и в маршрутно-технологически ориентированном пространстве (цехи, участки, линии и рабочие места) движение изделий и их частей [3].

Критерии достижения указанной цели и правильности построения данной системы следующие [3]:

– полное, комплектное и равномерное выполнение производственной программы при соблюдении директивных сроков выпуска продукции;

– наиболее рациональное использование оборудования, оснащения, производственных площадей и трудовых ресурсов;

– максимальное ускорение производства и минимальное связывание оборотных средств в незавершенном производстве.

В связи с тем, что инструментальное производство предприятия радиопромышленности единично в качестве системы планирования ис-

пользуется позаказная система [4], т.е. планово-учетной единицей является заказ на изготовление определенного вида технологического оснащения в одном комплекте или в небольшом количестве.

Постановка задачи. Инструментальный отдел представляет цеху производственную программу, намеченную к выполнению в плановом месяце.

Месячная программа состоит из месячного плана запуска и месячного плана выпуска, увязанных между собой календарными опережениями. Заказы, входящие в месячную программу, подразделяются на две группы: первая планируется на запуск и выпуск, для нее определены дата запуска и дата выпуска; вторая планируется только на запуск, дата запуска конкретно не определена (предполагается, что технологический цикл механообработки должен быть выполнен в течение планового месяца).

Требуется выполнить технологический цикл механообработки к началу следующего месяца для заказов, планируемых на запуск, и к конкретной дате планового месяца для заказов, планируемых на запуск и выпуск, с учетом оптимальной загрузки оборудования.

Информационная модель участка инструментального цеха приведена в таблице.

В качестве математического метода планирования загрузки оборудования используется метод сетевого планирования [5, 6], позволяющий планировать выполнение заказа, исходя из планирования работ по обработке наиболее трудоемких деталей.

Рассмотрим математическую модель задачи планирования загрузки оборудования.

Согласно описанию информационной модели участка (см. таблицу 1), математическая модель задачи имеет следующий вид.

Пусть $O^B \to R$ где B должен удовлетворять условиям:

$$D_i = T + \Pi \to \min \qquad (2)$$

при ограничении

$$\overline{S} \subset S, \overline{S} = \bigcup_{i=1}^{c} S_i, 1 \le c \le f, \overline{S} = \{S_i, i = \overline{1,c}, a \le p_i \le b\}$$

где D_i - длительность производственного цикла (ДПЦ) i-го заказа; Π_i -время пролеживания i-го заказа; $[a,b]$-границы, в которых изменяются приоритеты заказов, для которых требуются сокращения ДЦП:

Таблица 1. Математический модель задачи планирования загрузки РМ

Наименования	**Обозначения**
I. Заказы (продукты)	
1.1 Плановый период $W_{пл}$	S_I -заказ
1.2 Производственная программа участка на $W_{пл}$ $S=\{S_i, i=\overline{1,K}\}$	i - Номер заказа
1.3 Параметры заказа $S_i=\{T_i, Q_i, p_i, z_i\}$ $T_i=\sum_j T_j^i$ $Q_i=1, если\ u_i=U_i,$ $v_i=V_i, d_i=\theta_i,$ $y_i=Y_i$ $Q_i=0,$ Если не выполняется какое – либо из условий $Q_i = f(u_i, v_i, d_i, y_i)$	T_i - трудоемкость заказа Q_i - функция обеспеченности заказа P_i - приоритет заказа Z_i - дата запуска заказа u_t - потребность в материале U_t - наличие материалов v_i - потребность в заготовках V_i - наличие заготовок d_t - потребность в инструменте 2 го порядка θ_i -наличие инструмента 2-го порядка y_i - потребность в управляющих программах (УП) Y_i - наличие (УП)
1.4 Детали $A=\{A_j^i \in S_i \,/\, j=\overline{i,J}\},$ $A_j^i=\{(O_{j_1}^i,...,O_{j_n}^i), T_j^i\},$ $T_j^i=\sum_n t_{j_n}^i$	A_j^i -деталь заказа j-номер детали T_j^i -трудоемкость детали $O_{j_n}^i$ -технологическая операция
II. Операции	
2.1 Операции обработки $o=\{O_{j_n}^i \,/\, n=\overline{1,N}\}$	n - номер операции
2.2 Параметры операции $O_{jn}^i=\{t_{j_n}^i, k_{j_n}^i, \tau_{j_n}^i, L_{j_n}^i\}$	$t_{j_n}^i$ - трудоемкость операции $k_{j_n}^i$ - вид обработки по операции $\tau_{j_n}^i$ - разряд работы по операции

	$L^{i}_{j_n}$ -приоритет операции
III. Оборудования и рабочие	
3.1 Рабочие место $R = \{r_m / m = \overline{1, M}\}$	r -рабочее места m -номер рабочего места
3.2 Параметры рабочего места $r_m = \{F_m, \tau_m, G_m\}$	F_m -фонд доступного времени τ_m -квалификация рабочего G_m -группа технологического оборудования, к который относится рабочее место

$$P_m = F_m - \sum_{n=1}^{\overline{N}} t_n^m \to \min \qquad (3)$$

при ограничении: если

$$G_m = k_{jn}^i,\ \tau_m = \tau_{j_n}^i \text{ то } F_m = -\sum_{n=1}^{\overline{N}} t_n^m \geq 0$$

где P_m время простоя по m-му рабочему месту, t_n^m – трудоемкость n-й технологической операции, загружаемой на m-е рабочее место.

Приоритеты заказов заданы в месячном плане и отражают в ходимость заказа в первую или вторую группу (т.е. заказ планируется только на запуск или на запуск и выпуск в плановом месяце) и желаемую очередность выполнения заказов. Они служат исходными данными для расчета приоритетов операций по деталям. Алгоритм расчета последних построен так, что для каждого заказа формируется сетевой график его выполнения, позволяющий завершить одновременно технологический цикл механообработки по всем деталям.

Сетевой график по заказу строится на основе группирования деталей по их трудоемкости, что позволяет регулировать их запуск в производство, не нарушив длительности производственного цикла заказа, и уменьшить незавершенное производство.

Приоритеты операций рассчитываются по трем алгоритмам:

1) для деталей, имеющих критический ДПЦ и входящих в заказы, планируемые на запуск и выпуск в плановом месяце;

2) для деталей, входящих в заказы, планируемые на запуск и выпуск в плановом месяце;

3) для деталей, входящих в заказы, планируемые на запуск в плановом месяце.

В общем виде приоритеты операций по деталям отражают очередность загрузки на оборудование.

Многообразие подходов и методов, безуспешность их использования в реальных производственных ситуациях приводят к необходимости использования эвристических методов решения задачи составления расписаний [7].

Загрузка оборудования планируется по двум алгоритмам:

1) для деталей, входящих в заказы, планируемые на запуск и выпуск в плановом месяце;

2) для деталей, входящих в заказы, планируемые на запуск в плановом месяце.

Выводы

Предложены теоретические основы алгоритмизации управления ПС на основе их стандартного описания для создания алгоритмических моделей управления, используемых при управлении инструментальным цехом. Анализирован процесс решения задач при построении алгоритма управления ПС. Разработаны описание процесса решения задачи оперативного управления инструментальным цехом на основе алгоритмического подхода, модель построения алгоритма управления ПС.

Список литературы

1. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Алгоритмический подход управления сложными системами на примере производственных систем. ДАН АН РУз., г.Ташкент, №1, 2017 г., С.33-35

2. Форд.Л., Фалкерсон Д. Потоки в сетях// М; Мир, 1986 г.

3. Майоров С.А., Орловский Г.В. Халкиопов С.Н. Гибкое автоматическое производство, Л. 1985.

4. Лебедев М.П., Есютин А.А. Производственные ресурсы предприятия. Эффективное использование. М., 1984.

5. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики. М., 1980.

6. Жимеринг Д.Г. Мясников В.А. Автоматизированные и автоматические системы управления. М., 1979.

7. Мясников В.А., Игнатьев М.Б., Покровский А.М. Программное управление оборудованием, Л., 1981.

УДК 539.3

ИДЕИ ДВОЙСТВЕННОСТИ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ
DUALITY IDEAS IN MATHEMATICAL MODELING

Борис Владимирович Гусев[1,2], Василий Васильевич Саурин[2,3]
Boris V. Gusev, Vasily V. Saurin

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)» Москва
[1]Federal State Institution of Higher Education «Russian University of Transport» (RUT - MIIT)", Russia, Moscow
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering
[3]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, Москва, Россия
[3]Federal State Budgetary Institution of Science Institute for Problems in Mechanics A.Yu. Ishlinsky Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Аннотация: Обсуждаются использование идей двойственности в математическом моделировании физических явлений происходящих в системах с распределенными параметрами. На примере уравнений линейной теории упругости показана эффективность использования квадратичных энергетических соотношений.

Abstract: The use of ideas of duality in mathematical modeling of physical phenomena occurring in systems with distributed parameters is discussed. Using the equations of the linear theory of elasticity as an example, the efficiency of using quadratic energy relations is shown.

Ключевые слова: математическая физика, двойственность, квадратичные соотношения.

Keywords: mathematical physics, duality, quadratic relations.

Одной из задач математической физики является разработка специальных моделей для изучения различных природных явлений. Теория и методы этой научной дисциплины широко распространены благодаря тому, что ее модели основаны на фундаментальных законах природы, таких как законы сохранения энергии, импульса, массы, заряда, и так

далее. В частности, это приводит к тому, что одна и та же модель может описывать различные физические процессы.

Кроме того, методы математической физики могут быть применены и к другим областям науки. Эти подходы в настоящее время используются в химии, геологии, биологии, экологии, экономике и т.д. Они также широко применяются в технике для моделирования различных систем и устройств. Математическое моделирование можно рассматривать как надежную замену исследуемого объекта его математическим описанием и последующим анализом, как правило, с помощью методов вычислительной математики.

Цели математической физики тесно связаны с исследованием процессов в системах с распределенными параметрами, которые обычно занимают некоторую область пространства, так называемые сплошные среды. Величины, характеризующих состояние среды и ее поведение зависят обычно от пространственных координат и времени. Прогресс математического моделирования для таких распределенных процессов исторически был стимулирован прогрессом в механике и электродинамике.

Системы с распределенными параметрами, как правило, описываются уравнениями в частных производных, а в некоторых случаях, интегральными или интегро-дифференциальными соотношениями. Эти модели могут также включать функционалы от неизвестных переменных. Такие функционалы достигают своего стационарного значения на допустимом множестве функций, что соответствует стационарной точке, то есть искомому решению задачи. Это, как правило, связано с постановкой задачи, основанной на соответствующем вариационном принципе, который имеет определенный физический смысл.

Вариационные принципы и их применение ко многим областям физики, включая теорию упругости, имеют давнюю историю. Тем не менее, значение этих принципов стало четко понятно только благодаря достижениям в методе конечных элементов (МКЭ). Важной особенностью вариационных принципов является то, что основные уравнения, описывающие поведение среды, непосредственно следуют из них, как стационарные условия соответствующего функционала. Кроме того, вариационные формулировки имеют ряд преимуществ по сравнению с постановками задач в частных производных.

Во-первых, вариационная техника подходит для преобразования задачи, изначально заданной в частных производных, к эквивалентной, которая решается чаще проще, чем оригинальная. В вариационной формулировке при дополнительных ограничениях, это преобразование

обычно осуществляется с помощью метода множителей Лагранжа, который является очень эффективной и регулярной процедурой. Таким образом, можно получать семейства вариационных принципов, которые являются эквивалентными друг другу.

Во-вторых, если точное решение задачи не может быть найдено, то вариационный метод часто дает различные конечномерные формулировки для нахождения приближенного решения.

В-третьих, реализация вариационных принципов гарантирует стабильность численных алгоритмов и оптимальность приближенных решений. При этом, результирующая система уравнений, как правило, симметрична и положительно определена.

Другой подход, который также можно отнести к общим методам математической физики, является метод наименьших квадратов. Действительно, это выглядит довольно привлекательным составить неотрицательный функционал следующим образом. Все уравнения, описывающие изучаемое явление, возводятся в квадрат, суммируются, и интегрируются в пространстве и времени. Кроме того, заранее известно, что глобальный минимум этого интеграла равен нулю. Обычные стратегии МКЭ могут быть применены в МНК методах нахождения приближенных решений.

При этом, явные двусторонние оценки качества решения могут быть построены соответственно. Нижняя грань функционала известна, и значение функционала на приближенном решении всегда может быть выбрано в качестве верхней границы.

Тем не менее, следует отметить, что уравнения Эйлера (условия стационарности) для этой задачи минимизации, в общем, отличаются от системы уравнений в частных производных, которая генерирует этот функционал. Иными словами, задача, полученная из МНК, является вариационным принципом для другой краевой задачи. Таким образом, вопросы существования и единственности решения этой системы требуют дальнейших исследований.

Ещё одним направлением математического моделирования является использование идей двойственности в описании физических процессов. Можно отметить, что идеи двойственности широко используются в науке. В частности, при описании свойств света используется волновые также, как и корпускулярные представления. При описании явлений происходящих в механике сплошных средств используются двойственные вариационные принципы. Это принцип виртуальных перемещений и принцип Кастилиано. Один из которых записывается в перемещениях, а другой в напряжениях.

Основная идея рассмотренных в этой работе подходов состоит в том, что используемые в уравнениях математической физики переменные всегда можно разделить на две группы: первая группа состоит из, так называемых, измеряемых переменных, таких как смещение, скорость, температура и т.д.; вторая – из не измеряемых величин: напряжение, импульс, тепловой поток и т.д. В то же время управляющие уравнения можно разделить на три группы:

– уравнения состояния, связывающие измеряемые и не измеряемые неизвестные;

– начальные и граничные условия;

– законы баланса и непрерывности.

Уравнения из первой группы содержат информацию о внутренних свойствах исследуемого объекта. Второй тип уравнений отражает влияние среды на рассматриваемую систему. Третий описывает фундаментальные физические явления. Заметим, что законы из второй и третьей групп не зависят от свойств среды. В вычислительной физике предполагается, что некоторые определяющие соотношения ослабляются. Например, в линейной теории упругости принцип минимальной потенциальной энергии отражает равновесное состояние тела в интегральном смысле, относящееся к третьей группе уравнений. Суть метода интегро-дифференциальных соотношений, основы которого даны в книгах ([1, 2]), состоит в том, что только уравнения первого типа рассматриваются в интегральной форме, тогда как другие уравнения должны быть точно выполнены. Начально-краевая задача, модифицированная в соответствии с этим подходом, может быть, например, сведена к минимизации неотрицательного функционала относительно всех допустимых переменных [3, 4].

Как уже упоминалось, определяющие уравнения можно разделить на три группы. Обсудим такое разделение на примере задачи линейной упругости, где уравнения состояния

$$p - \rho \frac{\partial u}{\partial t} = 0, \quad \sigma - C : \varepsilon^0 = 0 \qquad (1)$$

могут быть отнесены к первой группе. Здесь σ – тензор напряжений, ε^0 – тензор деформаций, u вектор перемещений, p – вектор плотности импульсов, ρ – объемная плотность материала и C – тензор модулей упругости. Двоеточие означает двойное скалярное произведение. Вторая группа состоит из начальных условий

$$u = u(x, t_0), \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \left.\frac{\partial u(x,t)}{\partial t}\right|_{t=t_0}, \qquad (2)$$

граничных условий

$$u = u_1(x,t), \quad x \in \Gamma_1,$$
$$\sigma \cdot n = q_2(x,t), \quad x \in \Gamma_2, \qquad (3)$$

а также специальных геометрических ограничений

$$\varepsilon^0 = \frac{1}{2}\left(\nabla u + \nabla u^{\mathrm{T}}\right), \qquad (4)$$

где $u_1(x,t)$, и $q_2(x,t)$ – заданные граничные функции, n – вектор внешней нормали к границе тела и t_0 – начальный момент времени.

Уравнение динамического равновесия (уравнение баланса)

$$\nabla \cdot o - \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \qquad (5)$$

представляет третью группу.

Чтобы подробно проанализировать начально-краевую задачу (1-5), рассмотрим квадраты уравнений состояния (1). Первое соотношение из уравнений (1) для приближенного решения отражает рассогласование T_d плотностей кинетических энергии системы

$$T_d = \frac{1}{2\rho}\left(p - \rho\frac{\partial u}{\partial t}\right)^2 = \frac{p^2}{2\rho} - 2\frac{p}{2}\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{p}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)^2 \geq 0 \qquad (6)$$

Здесь предполагается, что $p(x)$ и $u(x)$ являются переменными задачи. Можно выделить три энергетических члена, имеющих различную физическую трактовку:

$T_p = \frac{p^2}{2\rho}$ – плотность кинетической энергии, зависящая только от неизмеряемых переменных, а именно импульсов;

$T_{pu} = \frac{p}{2}\frac{\partial u}{\partial t}$ – плотность энергии, выраженная через измеряемые (скорости точек тела) и неизмеряемые величины;

$T_u = \frac{p}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)^2$ – последний член зависит только от геометрических (измеряемых) переменных.

Квадрат второго уравнения в (1) отражает невязку в плотностях упругой энергии системы

$$\Pi_d = \frac{C^{-1} : \left(\sigma - C : \varepsilon^0\right) : \left(\sigma - C : \varepsilon^0\right)}{2} = \frac{\sigma : C^{-1} : \sigma}{2} - 2\frac{\sigma : \varepsilon^0}{2} + \frac{\varepsilon^0 : C : \varepsilon^0}{2} \geq 0 \qquad (7)$$

Здесь предполагается, что $\sigma(x)$ и $u(x)$ являются переменными задачи. Как и в предыдущем случае, можно выделить три различных энергетических члена:

$\Pi_\sigma = \dfrac{\sigma : C^{-1} : \sigma}{2}$ 2 – плотность упругой энергии, зависящая только от неизмерямых переменных, а именно от напряжений;

$\Pi_{\sigma\varepsilon} = \dfrac{\sigma : \varepsilon^0}{2}$ – плотность энергии, выраженная через измеряемые (деформации) и неизмеряемые величины;

$\Pi_\varepsilon = \dfrac{\varepsilon^0 : C : \varepsilon^0}{2}$ 2 – последний член в зависимости от геометрических (измеряемых) переменных.

Представление уравнений состояния (1) в квадратичном виде (6) и (7) обладает рядом преимуществ. Во-первых, при любых приближенных действительных полях перемещений напряжений и импульсов эти величины неотрицательны, как квадраты функций. Во-вторых, для точного решения задачи (1–5) значения энергий T_d и Π_d строго равны нулю. Другими словами, для довольно точных аппроксимаций искомых функций σ, u и p величины T_d и Π_d имеют малые значения, т. е. справедливы следующие соотношения

$$T_d \ll \frac{p^2}{2\rho}; \quad T_d \ll \frac{p}{2}\frac{\partial u}{\partial t}; \quad T_d \ll \frac{p}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)^2; \qquad (8)$$

для кинетической энергии и

$$\Pi_d \ll \frac{\sigma : C^{-1} : \sigma}{2}; \quad \Pi_d \ll \frac{\sigma : \varepsilon^0}{2}; \quad \Pi_d \ll \frac{\varepsilon^0 : C : \varepsilon^0}{2}; \qquad (9)$$

для потенциальной энергии. Неравенства (8) и (9) позволяют построить разнообразные оценки точности приближенного решения.

В качестве примера рассмотрим задачу поперечного изгиба прямоугольной защемленной пластины (изгиб консоли), показанной на Рис. 1.

$$\Omega = \left\{ x : x_1 \in \left(0, x_1^0\right), x_2 \in \left(0, x_2^0\right) \right\}. \qquad (10)$$

Предполагается, что однородная изотропная пластина нагружена некоторым напряжением сдвига $q_0(x_2)$ распределённым по краю Γ_1 с координатой $x_1 = x_1^0$.

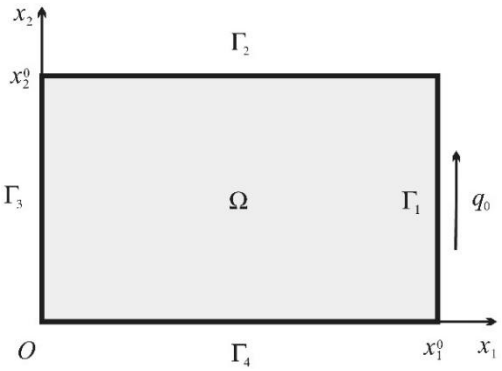


Рис. 1 Изгиб консоли.

Считается, что изотропная пластина длиной l и высотой b нагружена распределенной силой $p(y)$, приложенной к стороне с координатой $x_1 = l$. Тело защемлено вдоль края Γ_3, где $x_1 = 0$. Остальные рёбра Γ_2 и Γ_4 пластины свободны от нагрузок.

Таким образом граничные условия имеют вид

$$u_1\big|_{x_1=0} = u_2\big|_{x_1=0} = 0, \tag{11}$$

$$\sigma_{22}\big|_{x_2=0} = \sigma_{22}\big|_{x_2=x_2^0} = \sigma_{12}\big|_{x_2=0} = \sigma_{12}\big|_{x_2=x_2^0} = \sigma_{11}\big|_{x_1=x_1^0} = 0, \tag{12}$$

$$\sigma_{12}\big|_{x_1=x_1^0} = q_0(x_2) = \frac{6q^0}{\left(x_2^0\right)^2}\left(x_2 - \frac{x_2^2}{x_2^0}\right), \quad \int_0^{x_2^0} q_0(x_2)dx_2 = q^0. \tag{13}$$

Искомое решение u_i^* и σ_{ij}^* аппроксимируются двумерными полиномами

$$u_i = \sum_{k+l=0}^{N_u} u_i^{(kl)} x_1^k x_2^l, \quad \sigma_{ij} = \sum_{k+l=0}^{N_\sigma} \sigma_{ij}^{(kl)} x_1^k x_2^l, \quad i, j = 1, 2, \tag{14}$$

где $u_i^{(kl)}$ и $\sigma_{ij}^{(kl)}$ – неизвестные коэффициенты компонентов перемещения и напряжений, соответственно, N_u и N_σ степени .полных премиальных приближений u_i и σ_{ij}. Считается, что степени полиномов для перемещения напряжения связаны $N_u = N_\sigma + 1$.

Как можно видеть из Рис. 2, приближённые значение Π_u (сплошная линия) энергии Π_d монотонно убывает при увеличении порядка N_σ. В отличие от этого, значения энергий Π_σ и $\Pi_{u\sigma}$ (пунктирные и

штрихпунктирные кривые соответственно) монотонно растут, если число N_σ увеличивается.

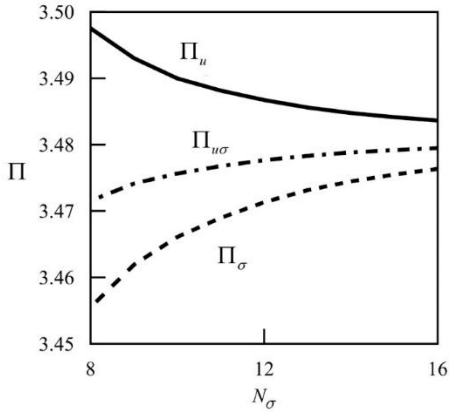


Рис. 2. Сходимость упругих энергий.

Выводы

Показано, что использование идей двойственности оказывает значительное влияние в математическом моделировании физических явлений, происходящих в системах с распределенными параметрами. По сравнению с представлениями об уравнениях линейной теории продемонстрирована эффективность использования квадратичных энергетических соотношений.

Работа выполнена в рамках Госзадания № 123021700050-1.

Список литературы

1. Kostin. G.V., Saurin V.V. Integrodifferential relations in linear elasticity. De Gruyter Studies in Mathematical Physics 10. De Gruyter, Berlin, 2012.

2. Kostin. G.V., Saurin V.V. Dynamics of Solid Structures. Methods Using Integrodifferential Relations. De Gruyter, Berlin, 2017, 305 p.

3. Костин Г.В., Саурин В.В. Метод интегродифференциальных соотношений в линейной теории упругости. МТТ, 2007, №2, с. 36-49.

4. Саурин В.В. О вариационных подходах в линейной теории упругости. Доклады АН. 2007. Т. 415. №4. С. 486-490.

УДК 69

УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ В ВЕРОЯТНОСТНЫХ УСЛОВИЯХ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
STABILITY OF THE PRODUCTION SYSTEM UNDER PROBABILISTIC CONDITIONS OF CONSTRUCTION PRODUCTION

Шрейбер Андрей Константинович[1,2], Абрамов Иван Львович[1]
Andrey Konstantinovich Schreiber[1,2], Ivan Lvovich Abramov[1]

[1]Национальный исследовательский Московский Государственный Строительный Университет, Россия, Москва
[1]National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia, Moscow
(e-mail: ShreiberAK@mgsu.ru) (e-mail: AbramovIL@mgsu.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering

Аннотация: Устойчивость рассматривается как результирующее качественное свойство производственной системы, определяющее способность поддерживать необходимый уровень результативности с целью своевременного выполнения своих обязательств и в значительной степени зависящее от стабильного, эффективного функционирования управляемой подсистемы – строительного производства.

Цель исследования – создание системы устойчивости строительных предприятий в вероятностных условиях строительного производства.

Задачи исследования:

1. Исследование тенденций, определяющих развитие строительной отрасли и адаптации строительных предприятий к современным условиям.

2. Научное обоснование методологического подхода к анализу и оценке устойчивости производственных систем, разработка показателей оценки устойчивости.

3. Разработка метода качественной оценки устойчивости производственной системы.

4. Разработка методов количественной оценки устойчивости производственной системы.

Теоретическая ценность полученных результатов заключается в развитии теории устойчивости производственных систем, в создании совокупности взаимосвязанных, теоретически обоснованных методологических подходов, методов и методик.

Abstract: Sustainability is considered as the resulting qualitative property of the production system, which determines the ability to maintain the required level of performance in order to fulfill its obligations in a timely manner and largely depends on the stable, efficient functioning of the managed subsystem - construction production.

The purpose of the study is to create a system of sustainability of construction enterprises in the probabilistic conditions of construction production.

Research objectives:

1. Study of trends that determine the development of the construction industry and the adaptation of construction enterprises to modern conditions.

2. Scientific substantiation of the methodological approach to the analysis and assessment of the sustainability of production systems, development of sustainability assessment indicators.

3. Development of a method for qualitative assessment of the sustainability of the production system.

4. Development of methods for quantitative assessment of the sustainability of the production system.

The theoretical value of the results obtained lies in the development of the theory of sustainability of production systems, in the creation of a set of interrelated, theoretically substantiated methodological approaches, methods and techniques.

Ключевые слова: устойчивость, производственная система, вероятностный характер, строительное производство.

Keywords: sustainability, production system, probabilistic nature, construction industry.

Переход России к рыночной экономике в конце 90^{-x} годов объективно предопределил развитие научных и практических школ в области экономики и юридического сопровождения бизнеса. К сожалению, развитию инженерно-технических направлений науки и профессионального образования внимания уделялось недостаточно. В результате в настоящее время отмечается, в частности, ряд пробелов в теории организации строительного производства.

Незаслуженно мало внимания уделяется изучению организационно-технических аспектов устойчивости работы производственных систем. Исследования методов количественной и качественной оценки

устойчивости производственных систем практически не проводились. Не разработаны система показателей количественной оценки устойчивости и методы регистрации потери устойчивости предприятиями. Отсутствует общепринятое толкование понятия «устойчивость» применительно к производственным системам.

На основе анализа особенностей функционирования производственных систем в современных условиях, общих принципов постановки научных проблем, а также научных трудов по теме устойчивости сформулирована проблема исследования «Устойчивость производственных систем в вероятностных условиях строительного производства» [1-5].

Производственная система – строительное предприятие представляет собой постоянно изменяющуюся и переходящую из одного качественного состояния в другое сложную систему, образованную из неоднородных элементов. Однако, несмотря на все изменения, происходящие в этой системе, она обладает рядом постоянных свойств:

– управляемость – способность подчиняться управленческому воздействию и изменяться под влиянием такого воздействия;

– гибкость – способность оперативно адаптироваться к изменениям, происходящим во внешней среде;

– долговременность – возможность на протяжении длительного периода времени осуществлять свою деятельность;

– результативность – способность создавать продукцию;

– устойчивость – характеристика, проявляемая в возможности поддерживать необходимый уровень результативности.

Научно-техническая гипотеза состоит: вероятностный характер строительного производства, который предопределяет направления исследований устойчивого состояния производственной системы. В целях создания устойчивого состояния системы необходима разработка комплекса мер и методов, реализация которых позволит достигнуть высокой эффективности производства. При этом устойчивость производственной системы следует рассматривать во времени и пересматривать в будущих периодах.

Решение проблемы структуризации и оптимизации набора показателей оценки устойчивости заключается в рассмотрении строительного производства как главной функции производственной системы. В соответствии с принципом первичности производства и вторичности по отношению к нему системы управления, устойчивость предложено оценивать с помощью показателей технического, технологического, экономического и организационного состояния. Управленческие и экономи-

ческие показатели рассмотрены сквозь призму обеспечения рационального устойчивого состояния основных компонентов строительного производства – строительных машин, технологических процессов, затрат труда.

В качестве основных показателей для оценки устойчивости производственной системы определены показатели результатов выполнения строительно-монтажных работ. В целях уточнения оценки устойчивости в пограничных интервалах допустимой вариации основных показателей предложено анализировать динамику дополнительных оценочных показателей, которые учитывают причинно-следственные связи показателей результатов строительного производства и организационно-управленческих, экономических показателей его результативности.

Необходимый (достаточный) состав оценочных показателей определяется их динамикой и вариабельностью, которые характеризуют состояние производственной системы.

Для анализа устойчивого состояния производственной системы используются контрольные карты в виде графиков значений мер положения и рассеяния значений показателей – индикаторов результативности строительного производства.

Метод качественной оценки устойчивости производственной системы включает следующие этапы:

– подготовка исходных данных показателей-индикаторов на основании мониторинга и их свертка;

– расчет значений контрольных пределов и построение контрольных карт для показателей-индикаторов. Анализ статистической управляемости процесса на основе данных контрольных карт. Поиск и устранение особых (внешних) причин излишней вариации показателей;

– оценка возможностей статистически неуправляемых процессов. Допуски работоспособности статистического процесса при организации строительного производства в расчетном периоде;

– анализ полученных результатов и формирование заключения о прогнозном состоянии устойчивости производственной системы.

Выводы

Исследованная проблема имеет важное значение для отдельных строительных предприятий и для строительной отрасли в целом.

Решенные задачи и полученные новые знания о свойствах и характере устойчивости производственных систем в вероятностных условиях строительного производства качественно повысят уровень организации и управления производственной деятельностью строительных предприятий.

Рекомендации и перспективы по проблеме устойчивости производственных систем являются, в том числе:

– разработка нормативных параметров устойчивой деятельности строительных предприятий, различных по мощности, специализации;

– исследование влияния организационных и технических факторов на устойчивость производственных систем;

– определение степени влияния деятельности специализированных подразделений на устойчивость производственной системы;

– разработка методов имитационного моделирования устойчивости производственных систем;

– проведение междисциплинарных исследований устойчивости строительных предприятий;

– исследование совокупного влияния управляющей и управляемой подсистем и эффективности их организации на устойчивость производственной системы.

Список литературы

1. Шрейбер А.К., Абрамов И.Л. Системно-динамическая адаптация организационной и производственной структур строительного предприятия к последствиям неопределенности / Шрейбер А.К., Абрамов И.Л. // В сборнике: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования. Сборник докладов Первой Национальной конференции. 2020. С. 1064–1067.

2. Abramov I. Studying the methods for determining and maintaining sustainability of a construction firm / Lapidus A., Abramov I. // MATEC Web of Conferences. 2018. P. 05017.

3. Головач Э.П. Научные основы повышения организаци- онной надежности и устойчивости предприятий инве- стиционно-строительного комплекса : диссертация / Э.П. Головач. – 2001. – С. 53.

4. Лапидус А.А., Абрамов И.Л. Устойчивость организационно-производственных систем в условиях рисков и неопределенности строительного производства // Перспективы науки. – 2018. – No 6. – С. 8–11.

5. Яруллина Г.Р. Методология обеспечения устойчивого развития промышленного предприятия / Г.Р. Ярулли - на. – Казань : Казанский ун-т, 2010. – 357 с. – ISBN 978-5- 98180-853-1.

УДК 550.344.33 + 551.2

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЖИЛОГО ДОМА ВОЛНОВЫМ МЕТОДОМ
DIAGNOSTICS OF THE STABILITY STATE OF A RESIDENTIAL HOUSE BY THE WAVE METHOD

Игорь Анатольевич Болдырев[1], Дмитрий Семенович Бакшеев[2], Дмитрий Иванович Свириденко[3], Константин Владимирович Федин[4], Аркадий Ростиславович Рофе[1], Антон Александрович Гриценко[4]
Igor Anatolievich Boldyrev[1], Dmitry Semenovich Baksheev[2], Dmitry Ivanovich Sviridenko[3], Konstantin Vladimirovich Fedin[4], Arkadiy Rostislavovich Rofe[1], Anton Aleksandrovich Gritsenko[4]

Новосибирское региональное отделение
Российской инженерной академии
[1]Новосибирский государственный университет, Россия, Новосибирск
[1]Novosibirsk state University, Russia, Novosibirsk
(e-mail: bia10@yandex.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering
(e-mail: bdinvest@mail.ru)
[3]ООО «Альфасейсмика», Россия, Новосибирск
[3]Alphaseismica Ltd., Russia, Novosibirsk
(e-mail: dsviridenko47@gmail.com)
[4]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Россия, Новосибирск
[4]Institute of Petroleum Geology and Geophysics. A.A. Trofimuk, Russia, Novosibirsk
(e-mail: fedin.konstantin@gmail.com, a.gritsenko3@g.nsu.ru)

Аннотация: известно, что в любом инженерном сооружении или здании распространение сейсмических колебаний приводит к формированию стоячих волн, частоты которых являются собственными для данного сооружения. Также из опыта инженерно-сейсмологических исследований зданий и сооружений следует, что при возникновении дефектов в сооружении или в основании, при изменении напряженно-деформированного состояния, формы собственных колебаний и собственные частоты меняются. Тщательный анализ этих ситуаций позволил выдви-

нуть предположение, что результаты анализа стоячих волн могут выступать как потенциально важный источник информации о сейсмической устойчивости зданий и сооружений, а также об их текущем и будущем состоянии.

Abstract: it is known that in any engineering structure or building, the propagation of seismic vibrations leads to the formation of standing waves, the frequencies of which are natural for this structure. Also, from the experience of engineering and seismological studies of buildings and structures, it follows that when defects occur in the structure or in the base, when the stress-strain state changes, the eigenmodes and natural frequencies change. Careful analysis of these situations led to the assumption that the results of standing wave analysis can act as a potentially important source of information about the seismic stability of buildings and structures, as well as their current and future condition.

Ключевые слова: стоячие волны, микросейсмика, волновые моды.

Keywords: standing waves, microseismic, wave modes.

При исследовании стоячих волн в процессе обследования зданий и сооружений сейсмическими методами, была высказана гипотеза, что если научиться устойчиво и надежно выделять стоячие волны из поля микросейсм, то можно попытаться с их помощью достаточно точно локализовать ослабленные и деформированные зоны в исследуемых объектах [1, 2].

Для обеспечения безопасной эксплуатации инженерных сооружений необходимо периодически контролировать их состояние. В настоящей работе представлены результаты натурных экспериментов, демонстрирующие возможность обнаружения аномальных зон (трещин, зон отрыва и т.п.) неразрушающим методом контроля по данным метода стоячих волн. Для выделения стоячих волн из регистрируемого на поверхности покрытия акустического шума применялось накопление амплитудных спектров большого числа шумовых записей. Показано, что по накопленным амплитудным спектрам, полученным при наблюдениях на сваях и на основании здания, можно уверенно идентифицировать потерю устойчивости исследуемого объекта. Построена цифровая модель пятиэтажного здания, на нем проведено математическое моделирование методом конечных элементов. Получены карты амплитудного распределения на основании здания как для полевых данных, так и для компьютерных. На синтетической модели получены критерии, которые уверенно показывают зоны отрыва, трещин, ослабленной зоны (например, пониженная скорость распространения упругой волны).

На первом этапе была построена модель пятиэтажного здания в программно-алгоритмическом комплексе (рис.1).

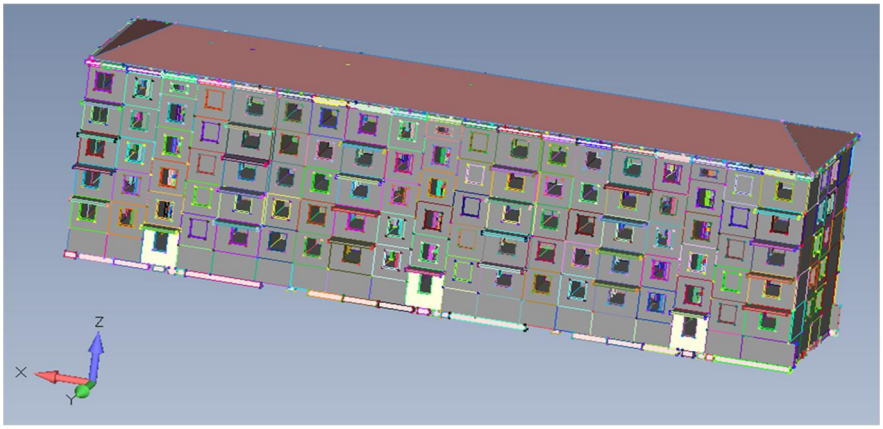


Рис.1. Цифровая модель пятиэтажного здания.

Затем методом конечных элементов на основании данного сооружения были получены значения частот и их амплитудные распределения. Пример такого амплитудного распределения на основании сооружения показан на рис. 2.

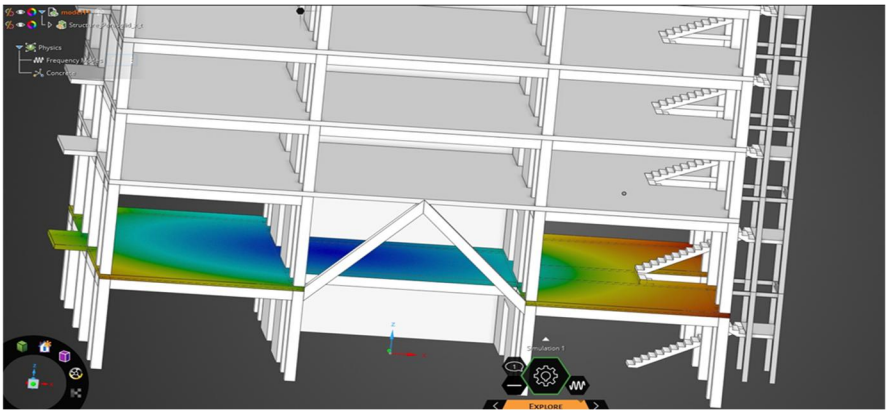


Рис.2. Пример амплитудного распределения на основании сооружения.

Для выбранного пятиэтажного здания были получены значения амплитудных распределений низших мод, как по широкой части здания (значения по X, рис. 3), так и по узкой (значения по Y, рис. 4).

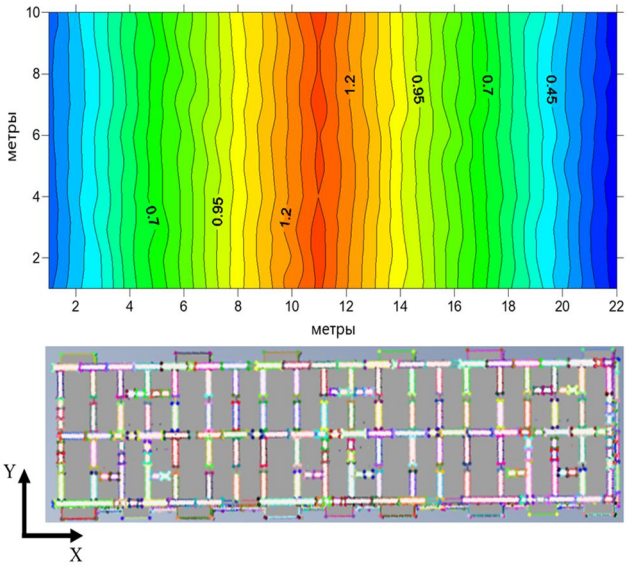


Рис.3. Амплитудное распределение по низшей моде на основании сооружения (компонента X).

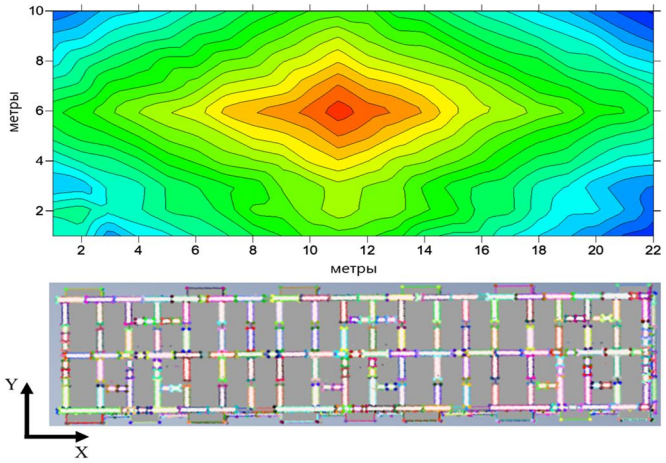


Рис.4. Амплитудное распределение по низшей моде на основании сооружения (компонента Y).

После того, как получили и рассчитали идеальную модель без дефектов, была проведена серия экспериментов с дефектами [3]:

1) Зона отрыва слева вверху, при этом по амплитудным распределениям четко выделяется данная зона (рис.5).

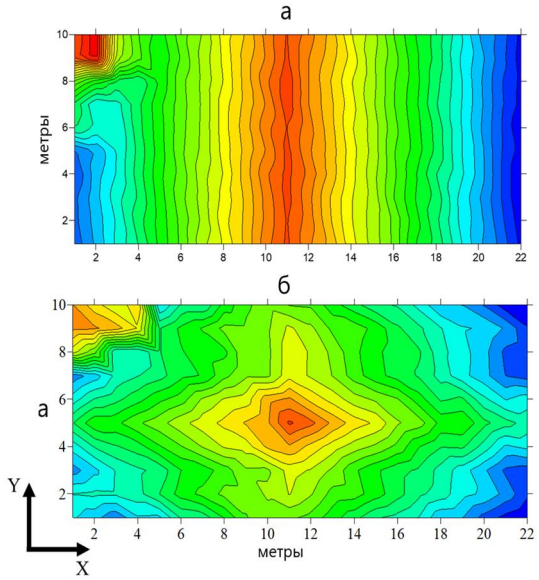


Рис.5. Амплитудное распределение по низшей моде на основании сооружения, зона отрыва слева вверху (компонента X-а, Y-б).

2) Зона отрыва слева посредине, при этом по амплитудным распределениям четко выделяется данная зона (рис.6).

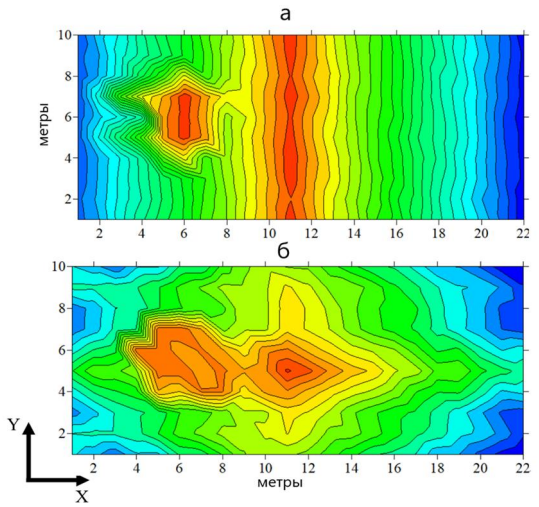


Рис.6. Амплитудное распределение по низшей моде на основании сооружения, зона отрыва слева посредине (компонента X-а, Y-б).

3) Зона отрыва плиты, расположенной на координате 4*4, при этом по амплитудным распределениям четко выделяется данная зона (рис.7).

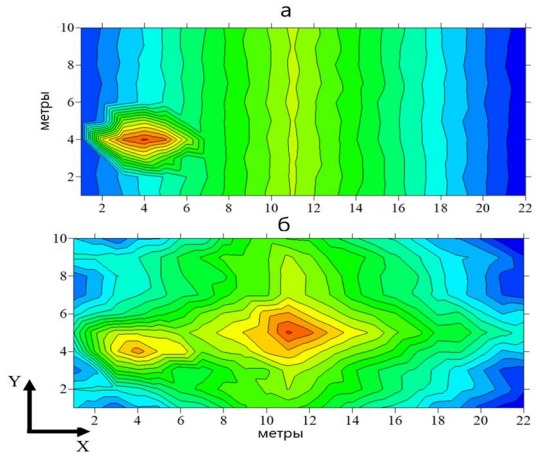


Рис.7. Амплитудное распределение по низшей моде на основании сооружения, зона отрыва слева посредине (компонента X-а, Y-б).

Повышенные амплитудные характеристики фиксируются, как на практике, так и на математической модели, это проявление зон отрыва, либо трещин. Пониженные амплитудные характеристики – это проявление зон с понижением армирования бетона, либо проявление коррозии, либо другого менее плотного материала.

Полученные результаты убедительно показали, что предлагаемый метод неразрушающего сейсмического обследования зданий и сооружений позволяет эффективно решать задачи оценки и прогнозирования состояния объектов.

Литература

1. Колесников Ю.И., Федин К.В., 2016. Применение пассивного метода стоячих волн в инженерной сейсмике: физическое моделирование и натурный эксперимент. Технологии сейсморазведки, № 2, с. 83-91.

2. Колесников Ю.И., Федин К.В., 2015. Обнаружение подземных пустот по микросейсмам: физическое моделирование. Технологии сейсморазведки, № 4, с. 89-96.

3. Fedin K.V., Kolesnikov Y.I., Ngomayezwe L. Determination of ice cover thickness using compression standing waves Cold Regions Science and Technology – том 198 – 2022

УДК 539.219

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УРОВНИ ТРИБОКОНТАКТОВ И ОЦЕНКА ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ
ENERGY LEVELS OF TRIBOCONTACTS AND ESTIMATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF MATERIALS

Ахад Х. Джанахмедов[1,2,3], Максим Я. Джавадов[2,3]
Ahad Janahmadov[1,2,3], Maksim Javadov[2,3]

[1] Азербайджанская Национальная академия авиации, Азербайджан, Баку
Azerbaijan National Aviation Academy, Azerbaijan, Baku
[2] Азербайджанская Инженерная академия, Азербайджан, Баку
Azerbaijan Engineering Academy, Azerbaijan, Baku
[3]Международная инженерная академия
[3]International Academy of Engineering
(e-mail: dzhanakhmedov@yahoo.com)

Аннотация: Приводятся результаты исследования оценки энергетических уровней трибоконтактов и трибологических свойств материалов пар трения. Результаты исследования позволили определить поверхностную температуру, динамический коэффициент трения и износ образцов. При этом установлено влияние диффузионной металлизации и поверхностного пластического деформирования на относительную износостойкость и шероховатость образцов из стали Х12МФ. Приведено физическое обоснование полученных параметров. Проведенные экспериментальные исследования на четырех циклах испытаний позволили получить профили профилограмм и по ним установить для образцов типы контактов (омический, нейтральный и блокирующий) и время их действия.

Abstract: The results of the study of evaluation of energy levels of tribocontacts and tribological properties of friction pairs are given. The results of the study made it possible to determine: surface temperature, dynamic coefficient of friction and wear of the samples. At the same time, the influence of diffusion metallization and surface plastic deformation on the relative wear resistance and roughness of samples made of Kh12MF steel was established. The physical substantiation of the obtained parameters is given. Experimental studies carried out on four test cycles made it possible to obtain profiles of profilograms and use them to establish the types of contacts (ohmic, neutral and blocking) for the samples and their duration of action.

Ключевые слова: трибоконтакт, трибологические свойства материалов, энергетические уровни, профилограммы, циклы испытаний.

Keywords: tribocontact, tribological properties of materials, energy level, profilograms, test cycles.

Введение. Инженерия поверхности является одним из наиболее перспективных и бурно развивающихся направлений современного материаловедения [1]. В настоящее время развивается новая отрасль трибологии – нанотрибология, объединившая экспериментальное и теоретическое изучение трения, износа, смазки, химической активности и трибоэлектромагнетизма поверхности на наноструктурном уровне [2–4]. Таким образом, старая наука о трении (трибология), основы которой были заложены триста лет назад Амонтоном, получила своё второе рождение.

Стимулом в развитии нанотрибологии стало понимание принципиально важной роли отдельных множественных микроконтактов, возникающих при соприкосновении поверхностей, общая площадь которых (площадь фактического контакта) значительно меньше, чем кажущаяся [5].

С переходом на качественно новый уровень исследований выяснилось, что физические процессы в трибоконтактах значительно богаче и разнообразнее, чем можно было бы предполагать, и включают множество новых явлений: фазовые переходы, обусловленные сдвиговым упорядочением тонких плёнок в контакте зонд – поверхность, и образование контактных “перемычек”; химические, электрохимические и трибоэлектрические эффекты; эффекты, связанные с влажностью, сверхпроводимостью и т.д. [6].

Наноструктурированные покрытия уже используются во многих областях, таких как конструирование и защита окружающей среды (например, антиэрозионные покрытия, нанесение лакокрасочных покрытий и т.д.), в военном и оборонном оборудовании (для защиты от коррозии и износа), в энергетическом, аэрокосмическом и автомобильном секторах (например, износостойкие покрытия, коррозионные, термальные и гидрофобные покрытия и т.д.). С помощью этих покрытий можно повысить твёрдость покрытия с 20 до 40 ГПа и снизить температуру подложки до 50–250°C [7].

Согласно классической теории трибологии [7], это свойство наноструктурных покрытий представляет особую важность в трибологических приложениях. Однако, многочисленные исследования контактов трения показывают, что, наряду с высокой твёрдостью, не менее важным является достижение соответствующих уровней эластичности

и допустимых растяжений, обеспечивающих эффективное сопротивление покрытий к износу. Это приводит к необходимости введения концепции оптимизации как твёрдости H до её (достаточно) высокого уровня, так и модуля эластичности (упругости) E до соответствующего (относительно низкого) уровня, когда мы имеем дело с трибологическими покрытиями. Эти ограничения приводят к необходимости установления высокого “отношения H/E” и соблюдения определенного компромисса при достижении этой цели [1].

Среди способов покрытий наиболее эффективным для повышения стойкости инструмента и деталей является способ диффузионной металлизации из среды легкоплавных жидкометаллических растворов. Данная технология, заключающаяся в выдержке изделия в ванне с легкоплавким металлическим расплавом, в котором растворен элемент или элементы покрытия, позволяет получать покрытия одновременно для партий изделий, на инструментах самой сложной конфигурации, при наличии на нем острых кромок, малых отверстий, глубоких полостей, а также совмещать процесс металлизации с термической обработкой. При этом образующиеся покрытия характеризуются равномерностью по толщине, стабильностью состава, высоким качеством и улучшенными трибологическими свойствами.

В настоящее время многие вопросы, касающиеся диффузионной металлизации из среды легкоплавных жидкометаллических растворов, недостаточно изучены. К ним относятся вопросы, касающиеся выбора состава среды насыщения (транспортного расплава), элемента покрытия, кинетики и способа формирования покрытий, а также задачи, связанные с характером взаимодействия элементов покрытия и материала, с влиянием покрытий на геометрию изделий, шероховатость покрытых поверхностей.

Качество поверхности и контакт деталей машин рассмотрено в работе [4]. Однако в последней не были исследованы профили микровыступов пар трения, влияющие на их энергонагруженность.

В работе [5] были получены зависимости, описывающие профили типовых относительных участков опорных кривых при распределении их материалов по высоте шероховатого слоя. Здесь ничего не было сказано о типах контактов микровыступов пар трения.

Энергетические уровни различных типов контактов микровыступов пар трения исследованы в работах [3]. Однако в них не была сделана привязка к конкретным профилограммам микровыступов пар трения.

Проблема повышения надежности сопряжений машин, механизмов и узлов, работающих при больших импульсных удельных нагрузках

и высоких скоростях скольжения, требует создания и усовершенствования существующих способов упрочнения поверхностей сопряжений. При этом на последнем этапе доводки материалов необходимо установить их трибологические свойства [4].

Цель работы - установить влияние на энергетические уровни контактов «колодочка-диск» (торцевая поверхность легирована диффузионной металлизацией) и оценить ее трибологические свойства на машине трения и износа в лабораторных условиях.

Постановка задачи. Рассматриваются следующие вопросы применительно к решаемой проблеме:

- анализ профилограмм с характеристиками шероховатостей рабочих поверхностей пар трения «колодочка-диск» после испытаний;

- сравнительные результаты исследований триботехнических свойств стали Х12МФ без и с диффузионным покрытием и поверхностно пластической деформацией (ППД) при различных контактных напряжениях в паре трения.

Рис. 1. Схема испытания «колодочка – диск»

Анализ профилограмм с характеристиками пар трения «колодочка-диск» после испытаний. Исследования триботехнических свойств материалов после диффузионной металлизации с ПДД и без нее проводились на машине трения и износа СМЦ-2 по схеме колодочка-диск (рис. 1).

Испытания проводились по 6 часов каждой парой образцов при следующих режимах испытаний: нормальная нагрузка - 400 Н, число оборотов нижнего образца (диска) – 300 мин$^{-1}$, смазочная среда - И20А.

Контроль профиля и параметров шероховатости образцов до и после испытаний проводился на профилометре Mahr Surf PS 1. Длина трассирования составила 5,6 мм, соответственно, величина отсечки шага 0,8 мм. Число базовых длин (отсечек шага) составило 5.

Контроль размерных параметров проводился электронным измерительным инструментом с ценой деления 0,01 мм. Схема измерения диаметра образца «диска» (D) и высоты колодочки (B) представлена на рис. 1.

Контроль весовых параметров производился на электронных лабораторных весах Shinko AJH-420CE с ценой деления измерений 0,001 г.

Энергетические уровни контактов профилограмм рассматривались с точки зрения работы выхода электронов и ионов с поверхностей колодочки (W_1) и вращающего диска (W_2). Если $W_2 > W_1$, то контакт был омический, при $W_2 = W_1$ – нейтральный, а когда $W_2 < W_1$ – блокирующий. Исследования при контактных напряжениях $\sigma_к$ = 3,5 гПа показали следующее:

– на I-ом цикле в образце №1 в прямоугольниках 1, 2, 3 господствовал омический контакт, на 4 и 5 прямоугольниках – преимущественно нейтральный контакт;

– в образце №2 в прямоугольниках 1, 2, 3 был преимущественно нейтральный контакт, а в 4 и 5 прямоугольниках - чередование омического с блокирующим контактом.

Проведено 20 измерений параметров шероховатости «диск» с разной степенью деформации, рассчитаны средние значения параметров шероховатости и доверительный интервал измерения после триботехнических испытаний, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты измерения параметров шероховатости материала с диффузионным металлическим покрытием

	$\sigma_к$, гПа	Ra, мкм	Rq, мкм	Rz, мкм	Rt, мкм
С диффузионной металлизацией	Исходный материал	5,384±0,385	6,759±0,493	27,203±1,634	38,32±4,07
	0	2,176±0,240	2,930±0,306	11,258±1,155	17,74±2,01
	3,0	2,272±0,256	2,955±0,323	12,048±1,223	17,96±1,89
	3,5	2,167±0,295	2,901±0,384	11,649±1,345	17,92±2,36
	4,0	2,323±0,167	3,099±0,247	12,156±0,972	18,41±2,05
	4,5	2,000±0,205	2,689±0,283	10,931±0,961	16,68±1,84

Как видно из табл. 1, наименьшие значения параметров шероховатости у образцов «диск», подвергнутых диффузионной металлизации и поверхностному пластическому деформированию наблюдалось при контактных напряжениях 4,5 гПа.

Приведены сравнительные результаты исследования триботехнических свойств стали Х12МФ без и с диффузионным покрытием и поверхностно пластической деформацией (ППД) при различных контактных напряжениях в паре трения.

В литературе отсутствуют данные об исследовании триботехнических свойств стали Х12МФ с диффузионным покрытием и ППД на машине трения и износа СМЦ-2 при различных контактных напряжениях в паре трения «колодочка-диск».

Изменение приращения температуры фиксировались платиновой термопарой, установленной в отверстии на образце колодочки (рис. 1).

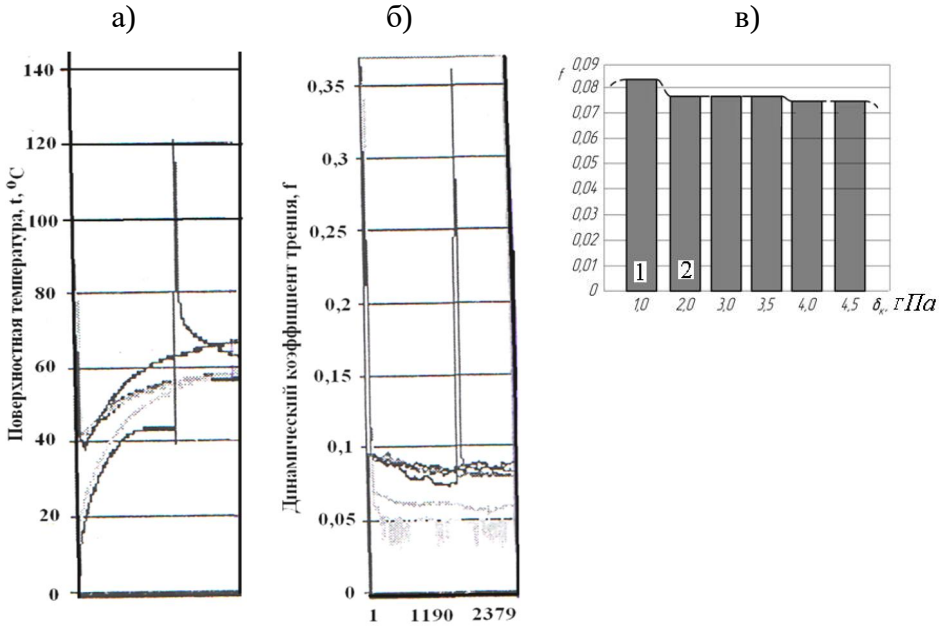


Рис. 2. Флуктуация поверхностной температуры (а) и динамического коэффициента трения (б) в зависимости от времени и функции вида (в)

f = μ(σk); 1, 2 – исходный и подверженный диффузии без ППД материалов

Согласно рис. 2 а флуктуации температуры вспышки вызвана взаимодействием микровыступов, к которым приложены импульсные удельные нагрузки. После чего генерируемое количество теплоты направляется в тело вращающего диска, где вызывает возникновение поверхностно-объемной температуры с отрицательным ее градиентом [5].

Флуктуационная величина динамического коэффициента трения (рис. 2 *б*) связана с резким увеличением силы трения в контакте и уменьшения импульсной удельной нагрузки из-за его пластической деформации [6].

На рис. 2 *в* представлены обобщенные результаты изменения динамического коэффициента трения во время испытаний на машине трения и износа СМЦ-2.

Нанесение диффузионных Ni-Cu покрытий обеспечивают снижение динамического коэффициента трения относительно исходных образцов (1) на 8,4% по отношению к испытуемым при $\sigma_к$ = 2,5 – 3,5 гПа (рис. 2 *в*). Последующее пластическое деформирование приводит к дальнейшему снижению динамического коэффициента трения, при этом его минимальная величина наблюдается после обработки данных с контактными напряжениями 4,0 и 4,5 гПа (снижение динамического коэффициента трения не более чем на 3,0% для меньших контактных напряжений (2,5 – 3,5 гПа)).

До и после исследования триботехнических свойств материалов производился контроль размерных и весовых параметров образцов, результаты этих измерений сведены в табл. 2.

Таблица 2. Экспериментальные данные по испытаниям пары трения «колодочка-диск»

Номер образца	Материал Х12МФ	$\sigma_к$, гПа	Вес		Массовый износ, г	Относительные размеры		Линейный износ, мм
			до испытаний, г	после испытаний, г		до	после	
Колод. №1	-	3,0	14,913	14,914	-0,001	8,99	8,99	0,00
Диск №2	диф. мет. с ППД		162,733	162,680	0,053	49,95	49,94	0,01
Колод. №1	без покрытия	3,5	14,934	14,933	0,001	8,99	8,99	0,00
Диск №2	диф. мет. с ППД		162,880	162,817	0,063	49,94	49,93	0,01
Колод. №1	без покрытия	4,0	14,781	14,783	-0,002	8,99	9,00	-0,01
Диск №2	диф. мет. с ППД		162,062	163,018	0,045	49,95	49,94	0,01
Колод. №1	без покрытия	4,5	14,786	14,788	-0,002	9,00	9,00	0,00
Диск №2	диф. мет. с ППД		162,911	162,873	0,038	49,95	49,94	0,01
Колод. №1	без покрытия	Без ППД	14,748	14,749	-0,001	8,98	8,99	-0,01
Диск №2	диф. мет. с ППД		163,130	163,043	0,087	49,95	49,93	0,02
Колод. №1	без покрытия		14,838	14,791	0,047	8,99	8,97	0,02
Диск №2			162,472	162,338	0,134	50,05	50,02	0,03

*Примечание: диф. мет. с ПДД – диффузионная металлизация с поверхностной пластической деформацией.

Согласно рис. 3, проведем анализ графических зависимостей относительной износостойкости (δ12589) и шероховатости (3456710) после диффузионной металлизации и поверхностно пластического деформирования образцов. Две графические зависимости имеют точку пересечения А и общую точку 5. Часть первой зависимости 2589 и второй 4567 оказались под воздействием полупроводникового эффекта при трении. При отсутствии последнего часть первой графической зависимости имеет вогнутую кривую 2-9. Прямая 7-10 пересекается с точкой 8. При этом прямая 7-10 может иметь контуры выпуклой и вогнутой кривой в зависимости от пластической деформации образцов [7, 8].

Нанесение диффузионных Ni-Cu покрытий с последующим деформированием приводит к повышению износостойкости относительно необработанных поверхностей изделий. При этом относительная износостойкость образцов с Ni-Cu покрытием составляет от 1,0 до 3,5 в интервале изменения контактных напряжений от нуля до 4,5 гПа. Наименьшая относительная износостойкость после проведения пластического деформирования наблюдалась при контактных напряжениях 3,5 гПа. При этом была минимальной шероховатость (Ra = 20 мкм).

В процессе проведения испытаний на износостойкость было установлено, что вследствие трения скольжения происходит значительное снижение шероховатости (от 3,5 до 1,5) Ra, мкм.

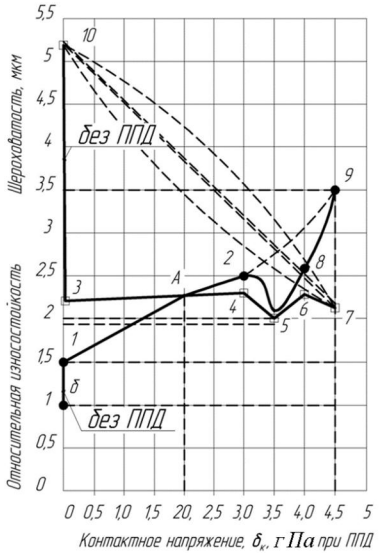


Рис. 3. Влияние диффузионной металлизации и поверхностного пластического деформирования на относительную износостойкость и шероховатость образцов из стали Х12МФ;
– износостойкость; – Ra после испытаний, мкм

Заключение. Проведенные исследования в лабораторных условиях различных пар трения с учетом энергетических уровней контактов профилограмм, а также выхода электронов и ионов (W_1, W_2) с их рабочих поверхностей позволили установить, что наибольшее время работают омические контакты ($W_2>W_1$), нейтральные контакты ($W_2=W_1$) – меньше среднего времени, блокирующие контакты ($W_2<W_1$) – остальное время.

Нанесение диффузионных Ni-Cu покрытий обеспечивают снижение динамического коэффициента трения относительно исходных образцов на 8,4%, а между испытуемыми образцами всего на 3,0%. При этом необходимо отметить, что пластическое деформирование при контактных напряжениях 4,0 и 4,5 гПа дает минимальное снижение динамического коэффициента трения.

Нанесение диффузионных Ni-Cu покрытий, а также последующее деформирование приводит к повышению износостойкости относительно необработанных поверхностей изделий. При этом относительная износостойкость образцов с Ni-Cu покрытием составляет 1,5, проведение пластической деформации приводит к дальнейшему увеличению износостойкости образцов и при этом наибольшая износостойкость наблюдалась при контактном напряжении 4,5 гПа и составила 3,56. Наименьшая износостойкость после проведения пластического деформирования составила 2,15 и наблюдалась при контактных напряжениях 3,5 гПа.

Список литературы

1. Janahmadov A.Kh. Tribological properties at contact Interaction of nanostructure coatings // Friction and Wear, PLEIADES PUBLISHING, USA, vol.41, 2020. Pp.63-71.

2. Fundamentals of Friction: Macroscopic and Microscopic Processes / eds. I. L. Singer and H. M. Pollock. – Dordrecht: Kluwer Acad. Publ. – 1992

3. Трибология: трение, износ, смазка / А.Х. Джанахмедов, Д.А. Вольченко, Н.А. Вольченко [и др.] // Баку: «Апостроф-А», 2019 – 640 с.

4. Основы трибологии / Под ред. Чичинадзе А.В. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.

5. Взаимосвязь внешнего и внутреннего электротермомеханического трения во фрикционных узлах / А.И. Вольченко, М.Я. Джавадов, Н.А. Вольченко [и др.] // Вестник Азербайджанской инженерной академи, vol.12, №4, 2020. – С. 27 – 39.

6. Дедков Г.В. Нанотрибология: экспериментальные факты и теоретические модели // Успехи физических наук. – 2000 (170), № 6, 585 – 618

7. Janahmadov A.Kh. and Javadov M.Y. Synergetics and Fractals in Tribology. – Swissland: Springer. – 2016

8. Шлыков Ю.П. Контактное термическое сопротивление / Ю.П. Шлыков, Е.А. Ганин, С.Н. Царевский // М.: Энергия, 1987. – 328 с.

УДК 625.08

РАЗВИТИЕ НАЗЕМНОЙ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ НА НАСТОЯЩЕМ ЭТАПЕ
DEVELOPMENT OF GROUND TRANSPORTATION AND TECHNOLOGICAL EQUIPMENT AT THE PRESENT STAGE

Геннадий Владимирович Кустарёв[1,2], Роман Геннадиевич Данилов[3], Никита Михайлович Андрюхов[1,2]
Gennady Vladimirovich Kustarev[1,2], Roman Gennadievich Danilov[3], Nikita Mikhailovich Andriukhov[1,2]

[1]Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Россия, Москва
[1]Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI), Russia, Moscow
(e-mail: proektdm@mail.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering
[3]Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт „НАМИ“» (ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»), Россия, Москва
[3]State Scientific Center of the Russian Federation Federal State Unitary Enterprise "Central Research Automobile and Auto-Motor Institute "NAMI"" (SSC RF FSUE "NAMI")
(e-mail: r.danilov@nami.ru)

Аннотация: Рассмотрены особенности совершенствования наземных транспортно-технологических машин. Указаны основные направления развития строительной техники на современном этапе.

Abstract: The features of improving ground-based transport and technological machines are considered. The main directions of development of construction equipment at the present stage are indicated.

Ключевые слова: наземные транспортно-технологические машины, гибридный привод, система навигации, лидар, радар, дистанционное управление.

Keywords: ground transport and technological machines, hybrid drive, navigation system, lidar, radar, remote control.

Развитие наземной транспортно-технологической техники идет по пути упрощения ее конструкции, совершенствования рабочих органов и технологического оборудования [1], повышение экологичности (снижения вредного воздействия на окружающую среду) и усложнения систем управления, облегчающих работу оператора. Разрабатываются машины выполняющие технологические операции без участия оператора, обеспечивающие эффективную и безопасную работу в самых сложных и опасных условиях эксплуатации [2].

В настоящий период строительные машины оснащаются компьютеризированными бортовыми системами диагностики и управления, системами помощи оператору, радарами, лидарами, видеокамерами, тепловизорами и системами спутниковой навигации.

Наиболее перспективным направлением совершенствования технологических машин является применение гибридного привода. Гибридный привод позволяет накапливать электроэнергию при выполнении транспортных и холостых операций и выдавать пик мощности, в несколько раз превышающий мощность установленного двигателя в рабочем режиме.

Комбинированная энергоустановка (КЭУ) включает в себя дизель-генератор, который заряжает тяговую аккумуляторную батарею (рис. 1). В рабочем режиме батарея начинает отдавать свою энергию, направляя ее на блок управления электропитанием и затем непосредственно на электрические двигатели. Движение технологической машины осуществляется за счет электродвигателей. Благодаря этому возможно движение с неработающим дизель-генератором (экологически чистый режим движения). В процессе торможения КЭУ преобразует кинетическую энергию в электрическую, которая направляется на блок управления электропитанием. За счет преобразования кинетической энергии торможения происходит зарядка тяговых батарей.

Технологическая машина должна быть оборудована бортовой информационно-управляющей системой (БИУС), обеспечивающей функции управления, контроля, диагностики и защиты КЭУ и элементов трансмиссии, ходовой части, тормозной системы, рулевого управления от аварийных режимов, запись и регистрацию состояния всех систем, переговоров и изображений от видеокамер, лидара и тепловизора.

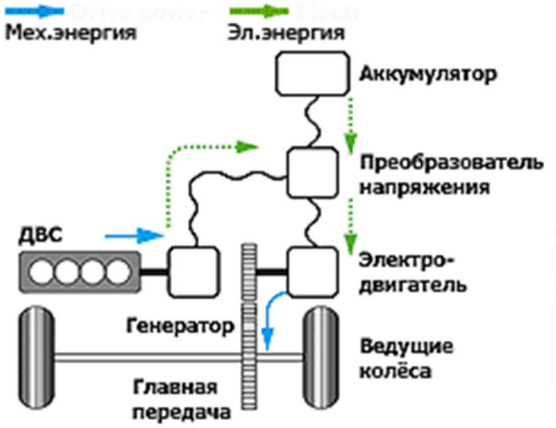


Рис. 1. Гибридная силовая установка

Электронный блок управления (ЭБУ) обрабатывает информацию от многочисленных датчиков и систем технологической машины с последующей выдачей управляющих команд исполнительным устройствам. ЭБУ является составной частью БИУС, ведет постоянный обмен данными с другими компонентами системы: антиблокировочной системой, электротрансмиссией, системами управления рабочими органами и безопасности машины, круиз-контролем, климат-контролем, и т.д. Обмен информацией ведется посредством CAN-шины, которая объединяет все электронные и цифровые системы машины в одну сеть. ЭБУ оснащен системой диагностики машины, и в случае обнаружения каких-либо неполадок или сбоев информирует о них оператора.

Усовершенствованная система помощи оператору – это электронная система, помогающая оператору управлять технологической машиной. Цель системы – повышение безопасности движения путем информирования оператора и привлечения его внимания. Как минимум, это предупреждение звуковым или вибросигналом о вероятном или возникшем риске, который требует внимания. Как максимум – экстренное самостоятельное принятие решения системой. Предлагаемые к реализации функции системы приведены в таблице 1.

Таблица 1. Функции системы помощи оператору.

Наименование функций	Описание
1. Адаптивный круиз контроль	Функция адаптивного круиз контроля служит для: - поддержания заданной дистанции до впереди идущих ТС; - контроля скорости движения ТС. Два режима работы: комфорт и динамический. Автоматическое выставление целевой скорости движения ТС (по дорожным знакам / навигации)
2. Предупреждение об опасности фронтального столкновения	Система необходима для: - оповещения оператора об опасности столкновения, с впереди идущим транспортным средством/объектом; - подготовки систем машины к экстренному торможению. Имеет 3 настройки времени предупреждения: рано, нормально, поздно
3. Предупреждение о столкновении сзади	Система необходима для оповещения оператора об опасности столкновения, с позади идущим ТС. Функция выдает визуальное и акустическое предупреждение для оператора сзади
4. Автоматическое экстренное торможение	Система необходима для: - автоматического торможения перед неподвижными / подвижными объектами (ТС, пешеходы, велосипедисты, мотоциклисты); - автоматического торможения при потенциальной опасности столкновения с встречным ТС при повороте налево на перекрестке
5. Контроль слепых зон	Система предназначена для: - визуального оповещения оператора нахождении ТС в слепых зонах; - звукового оповещения оператора о нахождении в слепой зоне ТС при включении сигнала поворота. Имеет 3 настройки дистанции обнаружения ТС
6. Помощь при перестроении	Система необходима для визуального и звукового оповещения оператора о потенциальном столкновении с позади идущим ТС в соседней полосе при включении сигнала поворота

Наименование функций	Описание
7. Предупреждение о непреднамеренном выезде с полосы движения	Система служит для визуального и звукового и тактильного оповещения оператора о непреднамеренном выезде с занимаемой полосы движения на скоростях от 50 км/ч
8. Распознавание дорожных знаков	Система необходима для распознавания и информирования оператора о дорожных знаках
9. Активное ограничение скорости	Система необходима для автоматического ограничения скорости движения по распознанным знакам или настройкам
10. Автоматическая принудительная остановка	Система необходима для: - контроля за состоянием оператора во время движения ТС; - звукового оповещения при длительном отсутствии управления ТС со стороны оператора; - автоматической остановки ТС после игнорирования оператором предупреждения о необходимости взять управление на себя; - автоматического вызова экстренных служб через систему «Эра-ГЛОНАСС» после автоматической остановки
11. Безопасный выход из машины	Система необходима для оповещения оператора о потенциальной опасности открытия двери
12. Помощь при движении задним ходом	Система необходима для: - контроля поперечного движения сзади технологической машины; - выдачи предупреждения. Указывает оператору, что продолжать маневр движения задним ходом опасно, так как движущийся распознанный объект пересекает прогнозируемый путь движения, что приведет к аварии. Если оператор не отреагирует изменением скорости или направлением движения, функция отправит запрос на торможение, чтобы автоматически остановить машину

Наименование функций	Описание
13. Система кругового обзора	Технология 360^0 отображает трехмерные периферийные изображения пространства вокруг машины через видеодисплей в кабине оператора. Технология использует данные 4 камер и технологию «с высоты птичьего полета» для создания 3D-модели пространства
14. Электронные зеркала заднего вида	Система обеспечивает неограниченный обзор там, где раньше его загораживали зеркала заднего вида. Это важно на перекрестках, при маневрировании и крутых поворотах. Благодаря высоте установки камер, защитным козырькам над объективами камер, особому покрытию и цифровому методу передачи изображения на дисплей в кабине запотевание и грязь практически не влияют на работу системы. Автоматический подогрев камер включается при температуре ниже 15°С. Виртуальные линии дистанции, отображающиеся на дисплее системы, помогают оператору оценить расстояние позади машины. В сочетании с информацией от системы помощи оператору, которая также выводится на дисплей, оператор может лучше оценить возможности для движения

Электронная панель приборов (рис. 2) представляет собой программно-аппаратный комплекс, позволяющий выводить оператору основные показания датчиков и систем технологической машины на широкоформатном HD дисплее. Для повышения удобства эксплуатации приборной панели управление её настройками осуществляется с рулевого колеса. Приборная панель – это коммуникатор, с помощью которого осуществляется связь технологической машины с оператором.

В конструкции технологической машины должна быть предусмотрена сенсорная панель управления. Основным её функционалом являются: отображение навигации (рис. 3), настройка подсистем машины, управление специализированным оборудованием, вывод изображения с камеры заднего вида и с системы 360^o (рис. 4).

Рис. 2. Электронная панель приборов

Рис. 3. Отображение навигации на сенсорной панели

Рис. 4. Вывод изображения с камеры заднего вида и системы 360º на сенсорную панель

Кроме вышеперечисленного, технологическая машина может управляться с дистанционного пульта управления. Выполнение манёвров с помощью пульта дистанционного управления происходит при подаче соответствующих команд приводам основных агрегатов и узлов

машины. Для реализации управления, на пульт оператора должно выводиться изображение с камер системы технического зрения (передняя и задняя полусфера, слепые зоны) и комплексированная информация от ультразвуковых датчиков, радаров и лидаров, о расстоянии до ближайших препятствий и возможных помех движению.

Для повышения уровня эргономики и адаптации управления под каждого оператора в отдельности, на пульте дистанционного управления должна быть предусмотрена калибровка, которая будет позволять настроить чувствительность органов управления с программных или механических манипуляторов. Экран пульта дистанционного управления должен иметь функции адаптивной подстройки яркости и контраста.

Для повышения безопасности управления технологической машиной с помощью дистанционного управления, на пульте должен быть предусмотрен механизм отображения подсказок в виде вспомогательной информации о распознанных объектах в режиме дополненной реальности. Справочная информация должна быть доступна в виде списка получаемых объектов, а также меток нанесенных на найденные объекты на экране пульта оператора. Также силами этой функции должна отображаться предварительно рассчитанная вероятная динамическая траектория движения в обозримой местности. На пульте дистанционного управления должна быть предусмотрена «красная кнопка», которая позволит максимально быстро остановить машину при возникновении нештатных ситуаций. «Красная кнопка» должна быть расположена на основном экране пульта дистанционного управления в быстрой доступности.

Лидар – это устройство для определения расстояний с помощью света. Преимущество лазерного радара заключается в том, что он может генерировать точные трехмерные изображения: от транспортных средств до светофоров и пешеходов, в широком диапазоне условий и при различных уровнях освещения. Лидар направляет перед собой инфракрасный свет в широком диапазоне (до 180°) на расстояние до 400 м. Свет частично отражается от препятствий впереди, а частично рассеивается. Отраженный импульс возвращается обратно, где воспринимается фотодиодом. Ток на фотодиоде пропорционален воздействующему свету. На основании принятого цифрового сигнала процессор определяет расстояние до препятствия, а в случае с движущимся впереди ТС – и его скорость. Множество ИК-лучей и их одновременная обработка позволяют лидару строить 3D-изображение окружающей обстановки (рис. 5).

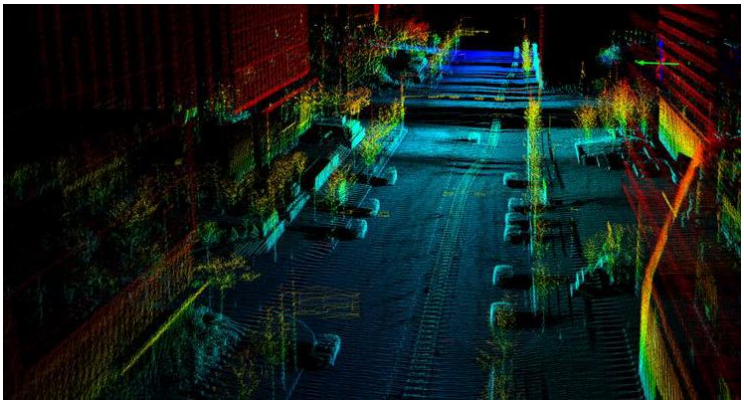


Рис. 5. 3D-изображение окружающей обстановки, построенное с помощью лидара

Проекционный дисплей (рис. 6) отображает важную системную информацию в удобном месте, которое не требует опускать глаза оператора вниз или в сторону от дороги. Дисплей выполнен на основе голографических оптических элементов. В комплектацию системы входит лазерный проектор и прозрачная пленка, позволяющая создавать на лобовом стекле цветную голографическую картинку, воспринимаемую оператором как изображение. Таким образом, оператору оказывается доступна наглядная информация о параметрах выполнения технологических операций, маршруте следования, скорости, знаках и расстоянии до объектов в зависимости от скорости движения в режиме реального времени.

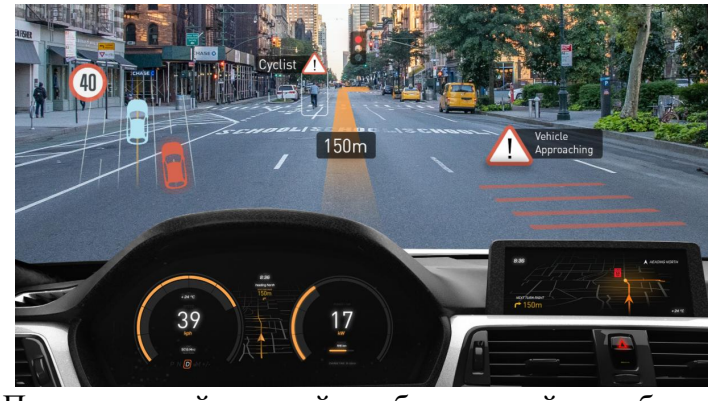


Рис. 6. Проекционный дисплей, отображающий на лобовом стекле наглядную информацию о маршруте следования, скорости, знаках и расстоянии до объектов в зависимости от скорости движения в режиме реального времени

Подсистема навигации подразумевает комплексирование навигационных данных с нескольких типов навигационных систем и их работу совместно на технологической машине, либо в случае отказа одной из систем. Согласно выбранной концепции, система навигации включает следующие основные компоненты:

– бесплатформенную инерциальную навигационную систему;

– датчики частот вращения колес;

– GNSS-приемники с выходом RS232 и форматом данных NMEA-0183 или BINR.

Для позиционирования с сантиметровой точностью используется двухточечная система спутниковой навигации в режиме RTK (real time kinematic). RTK – метод получения высокоточных координат (рис. 7), основанный на использовании поправок для потребителя со стационарного приемника, также называемого базой, координаты которого известны с высокой точностью.

Работоспособность устройств навигации обеспечивают программные пакеты, позволяющие решать навигационные задачи, совместно с данными, полученными со спутников и базовой станции. Технология работы системы подразумевает измерение фаз несущей частоты, передаваемой спутниками GNSS и обрабатываемое приемным устройством в режиме реального времени. Время одного измерения составляет несколько секунд. Поправка определения координат позиционируемого объекта происходит согласно алгоритму ПО оборудования навигационной системы RTK.

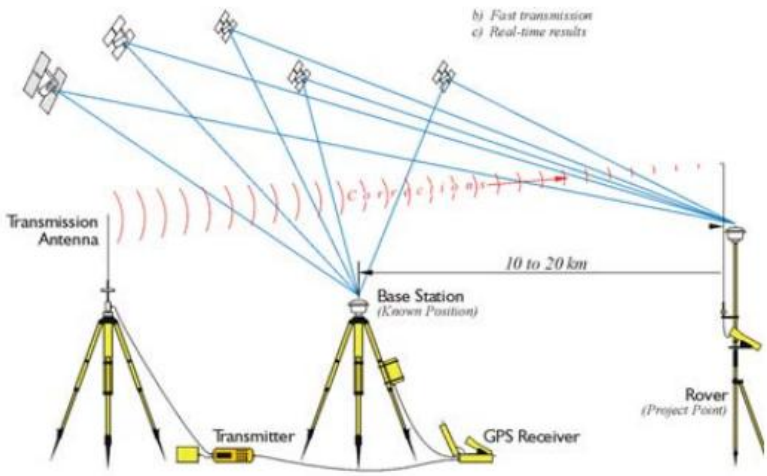


Рис. 7. Реализация режима RTK

Алгоритм измеряет фазы несущих GNSS-сигналов, получаемых приемником базовой станции, принимает дифференциальную поправку с базовой станции и уточняет сигнал со спутника, после чего эти поправочные данные получает второй приемник, установленный на транспортном средстве. На расстоянии до 20-30 км от базовой станции точность позиционирования при корректировке по ней составляет 1 см в плане и 2 см по высоте. Помимо спутниковой системы навигации, на борту машины должны быть расположены автономные системы навигации, не требующие внешних сигналов. К ним относятся одометрическая и инерциальная системы навигации. Такие системы используются для работы в случае недоступности GNSS и для корректировки основных навигационных систем.

Для подсистемы связи могут быть применены следующие изделия: модемы, точки доступа и антенны, обеспечивающие связь по стандарту Wave (IEEE802.11p), а также с помощью технологий сотовой связи (в том числе 5G). Система связи с штабом управления действиями позволяет в своевременно корректировать траекторию движения машины с учётом дорожной обстановки, а система навигации способна точно передавать местоположение машины в реальном времени. Помимо связи со штабом управления, система связи обеспечивает связь с пультом дистанционного управления, который помогает управлять технологической машиной в местах с ограниченным пространством. Система связи должна предусматривать интеграцию в кооперативную интеллектуальную транспортную систему.

Выводы

Развитие наземной транспортно-технологической техники идет по пути упрощения ее конструкции, повышения экологичности (снижения вредного воздействия на окружающую среду) и усложнения систем управления, облегчающих работу оператора. Разрабатываются машины выполняющие технологические операции без участия оператора, обеспечивающие эффективную и безопасную работу в самых сложных и опасных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Ахрамеев Е.Д., Андрюхов Н.М., Данилов Р.Г., Шестопалов К.К., Кустарёв Г.В. Система поворота грейдерного отвала на автогрейдере // Строительные и дорожные машины. 2022. № 6. С. 3-6.

2. Дорожно-строительные машины и комплексы: Учебник для вузов по спец. «Строительные и дорожные машины и оборудование» / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Г.В. Кустарёв, Р.Г. Данилов, Н.Д. Селиверстов, Н.М. Андрюхов, М.Д. Герасимов; под общ ред. В.И. Баловнева, С.Н. Глаголева. –3-е изд., дополн. и перераб. –Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. – 523 с.: ил.

УДК 621.793:620.199:001.18

СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

MODERN TECHNOLOGY OF THERMAL CONTROL OF HEAT-PROTECTIVE PARAMETERS OF ENCLOSING STRUCTURES OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN THE CONDITIONS OF THEIR OPERATION

Олег Николаевич Будадин[1,4], Елена Вячеславовна Абрамова[2], Софья Олеговна Козельская[1,3], Михаил Юрьевич Федотов[4,5]
Oleg N. Budadin[1], Elena V. Abramova[2], Sofiya O. Kozelskaya[1,3], Mikhail Yu. Fedotov[4,5]

[1]АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения», Россия, Московская обл., г. Хотьково
[1]JSC Central Research Institute of Special Machine Building, Russia, Moscow Region, Khotkovo
[2]ФГАУ «Научно-учебный центр «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана, Россия, Москва
[2]FGAU "Scientific and Educational Center «Welding and Control» at MSTU named after N.E. Bauman, Russia, Moscow
[3]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов
[3]Tambov State Technical University, Russia, Tambov
[4]Российская инженерная академия, Россия, г. Москва
[4]Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow
[5]Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, г. Новосибирск
[5]Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Novosibirsk

Аннотация: одной из основных величин, по которой судят о теплозащитных свойствах наружных ограждающих конструкций является сопротивление теплопередаче, которая определяется современными нормативными документами. Однако, определить его в реальных условиях эксплуатации зданий – не простая задача. Рассмотрены методы определения сопротивления теплопередаче наружных ограждающих

конструкций в условиях эксплуатации зданий и сооружений на базе теплового контроля.

*Abstract: O*ne of the main values by which the heat–shielding properties of external enclosing structures are judged is the resistance to heat transfer, which is determined by modern regulatory documents. However, to determine it in real conditions of operation of buildings is not an easy task. Methods for determining the resistance to heat transfer of external enclosing structures under the conditions of operation of buildings and structures on the basis of thermal control are considered.

Ключевые слова: Тепловой контроль, сопротивление теплопередаче, теплопотеря, энергетический аудит.

Keywords: thermal control, resistance to heat transfer, heat loss, energy audit.

В современных условиях актуальность и необходимость оценки качества и долговечности строительных конструкций и теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий в натурных условиях определяется законодательно «Градостроительноым кодексом Российской Федерации» от 29.12.2004 N 190–ФЗ (ред. от 02.08.2019) (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.08.2019), где указаны требования их энергоэффективности и процедуры приема зданий в эксплуатацию (статья 54). Следующие Федеральные законы РФ: «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30 декабря 2009 № 384–ФЗ (статьи 25, 29, 31, 33, 36, 38) и «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (статьи 9, 11, 12, 15) от 23 ноября 2009 г. №261–ФЗ (ред. От 26.07.2019) подразумевают измерение реальных значений теплотехнических параметров наружных ограждающих конструкций с целью разработки Технического Заключения и/или Энергетического паспорта объекта.

Указанные нормативные документы в основном определяют параметры качества зданий и требования к контролю [0, 0, 0], а [0 – 0, 0 – 0] – технологии проведения необходимых измерений и получения конечного результата с заданной погрешностью. К последним следует отнести, также, и методические рекомендации, и методики выполнения измерений.

Анализ указанных нормативных и методических документов показывает, что практически все они должны быть актуализированы в соответствии с особенностями процессов теплопередачи через ограждающие конструкции в натурных условиях, современных расчетных алгоритмов и характеристик тепловизоров.

В классической постановке задачи для стационарных условий окружающей среды сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций (НОК) определяют следующим образом (согласно [0, 0]):

$$R = \frac{\overline{t}^{в}_{внутр} - \overline{t}^{ст}_{внутр}}{q} + \frac{\overline{t}^{ст}_{внутр} - \overline{t}^{ст}_{внеш}}{q} + \frac{\overline{t}^{ст}_{внеш} - \overline{t}^{в}_{внеш}}{q} = \frac{\overline{t}^{в}_{внутр} - \overline{t}^{в}_{внеш}}{q}, \qquad (1)$$

где $\overline{t}^{в}_{внутр}, \overline{t}^{ст}_{внутр}, \overline{t}^{ст}_{внеш}, \overline{t}^{в}_{внеш}$ – средние за измерительный период температуры внутреннего воздуха на расстоянии 100 мм от внутренней поверхности стены, внутренней поверхности стены, наружной (внешней) поверхности стены, наружного (внешнего) воздуха на расстоянии 100 мм от внутренней поверхности стены; q – средняя за расчетный (измерительный) период плотность мощности теплового потока через ограждающую конструкцию.

Величины $R_{внутр} = \frac{\overline{t}^{в}_{внутр} - \overline{t}^{ст}_{внутр}}{q}$, $R_{внеш} = \frac{\overline{t}^{ст}_{внеш} - \overline{t}^{в}_{внеш}}{q}$ называются сопротивлениями теплопереходу внутренней и внешней поверхностей стены; величина $R_т = \frac{\overline{t}^{ст}_{внутр} - \overline{t}^{ст}_{внеш}}{q}$ – это термическое сопротивление стены; величины $\alpha_{внутр} = 1/R_{внутр}$, $\alpha_{внеш} = 1/R_{внеш}$ соответственно называются коэффициентами теплоотдачи на внутренней и внешней поверхностях НОК.

Текущие значения величин, входящих в формулу (1), фиксируются через типовые интервалы времени в среднем от получаса до одного часа. Минимальный период измерений составляет 72 часа, при этом должна быть обеспечена стабильность температур среды, в которой установлен датчик теплового потока [0]. В противном случае он увеличивается до 7 дней. Согласно [0] измерительный период температур поверхности и тепловых потоков должен составлять 15 суток, что на практике выдерживается редко. Формула (1) с погрешностью 15% вычисляет результат контроля только в стационарных условиях, которые определяют измерительный коридор данных по температурам, шириной ±1,5°С от среднесуточного значения. При резком потеплении происходит изменение знака с «+» на «–» в первом сомножителе и формула теряет свой смысл.

По мнению авторов, стандарт [0] наиболее полно описывает технологию определения сопротивления теплопередаче R_o, однако процедуры тепловизионного контроля ориентированы на устаревший стандарт [0], непонятны признаки «однородности» температурного поля,

«стабильности» температур, невнятно прописаны приемы измерения тепловых потоков в натурных условиях.

Основной теплозащитной характеристикой наружных ограждений является приведенное сопротивление теплопередаче, учитывающее влияние элементов конструкций, которые вносят неоднородность в температурное поле. Согласно [0] эту величину определяют следующим образом:

$$R_o^r = n(t_{\text{int}} - t_{ext})A / Q, \qquad (2)$$

где A – площадь неоднородной ограждающей конструкции или ее фрагмента с внутренней стороны, м^2, Q – суммарный тепловой поток через конструкцию A, Вт, определяемый расчетом или по [0], n – коэффициент, принимаемый в соответствии с [0], t_{int} – расчетная температура внутреннего воздуха, °С, по [0], t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха, °С, по [0].

Основная проблема этой формулы – определение в натурных условиях суммарного теплового потока Q. Ссылка на [0] не дает исчерпывающей информации для измерения указанной величины в нестационарных условиях.

Более приемлема другая формула из [0]:

$$R_o^r = R_o r, \qquad (3)$$

где R_o – сопротивление теплопередаче на базовом участке, определенное по [0] или [0], r – коэффициент теплотехнической неоднородности, задается в проектной документации или определяется по результатам теплового контроля (ТК) [0] или по [0].

Рассмотренные технологии определения приведенного сопротивления теплопередаче относятся к стационарным тепловым процессам. Однако, было бы несправедливо оставить в стороне от рассмотрения технологии определения сопротивления теплопередаче ограждений, основанные на расчетах нестационарных режимов воздействия окружающей среды.

Суть этого метода состоит в минимизации функционала, определяющего суммарную погрешность между теоретически рассчитанными с известными характеристиками контролируемого изделия и дефекта матрицами температур и полученными при экспериментальных исследованиях.

$$F = \sum_{j=1}^{J} \sum_{\vec{\theta}} [[T_Э(\vec{\theta}_Э(x,y),t_j)]^2 - [T_P(\vec{\theta}_P(x,y),t_j)]^2] = min, \qquad (4)$$

где tj – момент времени, x, y – координаты поверхности, $\vec{\theta}_P$ – вектор экспериментальных характеристик дефектов, $\vec{\theta}_Э$ – вектор расчетных характеристик дефектов.

Минимизация функционала осуществляется градиентным методом, либо методом подбора квазирешения в зависимости от начального приближения векторов характеристик дефектов и искомого решения. Метод универсален и нашел свое применение на практике. Однако его использование выявило ряд недостатков, основной заключаются в том, что оператор из множества решений выбирает то, что наиболее близко к проектным данным, т.е. метод является «субъективным».

Таким образом, актуальна разработка простого метода определения параметров теплозащиты зданий, опирающегося на современную измерительную технику, доступного для применения персоналом среднего уровня квалификации.

Авторами разработан ряд методических документов, реализующих различные варианты определения теплотехнических параметров НОК, как в квазистационарных, условиях, так и нестационарных, исключающих решение обратной задачи и априорное знание теплотехнических характеристик слоев ограждающей конструкции.

Расчетный алгоритм сводится к решению системы уравнений относительно термического сопротивления:

$$\begin{cases} \overline{q}_в(t) = \frac{\overline{T}_в(t)-\overline{T}_н(t)}{R} + \Delta q_в(t) \\ \overline{q}_н(t) = \frac{\overline{T}_в(t)-\overline{T}_н(t)}{R} + \Delta q_н(t) \\ \Delta q_в(t) = \alpha_в \left[\overline{T}_в(t) - \int_0^\infty k_{11}(\tau)\overline{T}_в(t-\tau)d\tau\right] \\ \qquad + \frac{1}{R}\int_0^\infty k_{12}(\tau)\left[\overline{T}_в(t-\tau) - \overline{T}_в(t) - (\overline{T}_н(t-\tau) - \overline{T}_н(t))\right]d\tau \\ \Delta q_н(t) = \alpha_н \left[\overline{T}_н(t) - \int_0^\infty k_{11}(\tau)\overline{T}_н(t-\tau)d\tau\right] \\ \qquad + \frac{1}{R}\int_0^\infty k_{12}(\tau)\left[\overline{T}_н(t-\tau) - \overline{T}_н(t) - (\overline{T}_в(t-\tau) - \overline{T}_в(t))\right]d\tau \\ \int_0^\infty k_{ij}(\tau)d\tau = 1 \end{cases} \quad (5)$$

где $\overline{q}_в(t)$, $\overline{q}_н(t)$– величина усредненного теплового потока на внутренней и наружной поверхностях конструкции, $\overline{T}_в(t), \overline{T}_н(t)$ – величины усредненной температуры на внутренней и наружной поверхностях конструкции, R – величина термического сопротивления, $\Delta q_{\hat{a}}(t)$, $\Delta q_{\acute{i}}(t)$ – корректирующие величины теплового потока, $\acute{\alpha}_н$, $\acute{\alpha}_в$ – коэффициенты теплообмена на наружной и внутренней поверхностях конструкции, k_{ij} – весовые коэффициенты, τ – параметр интегрирования.

Разработанная методика проведения контроля подробно описывает необходимые процедуры и включает специальное программное обеспечение для определения приведенного сопротивления НОК и теплопотерь через них. При этом погрешность измерения термического сопротивления по разработанной методике не превышает 10%, что вполне приемлемо для практики. Указанная погрешность включает следующие факторы, влияющие на конечный результат определения термического сопротивления: учет реальных климатических условий и субъективных человеческих факторов, реальных характеристик используемой аппаратуры.

Выводы

1. Низкий квалификационный уровень большинства тепловизионных обследований обусловливает актуальность разработки специализированных методик контроля, подробно прописывающих технологические процедуры с целью исключения субъективных ошибок операторов.

2. Разработана методика теплового контроля сопротивления теплопередаче многослойных строительных конструкций в реальных условиях их эксплуатации, в любых климатических условиях с автоматизированной обработкой данных.

3. Следует повышать квалификационные требования к персоналу, проводящему тепловой контроль зданий и сооружений и проводить регулярно выборочный экспертный анализ независимыми специалистами отчетов, предоставляемых в надзорные органы.

Литература

1. ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». Разделы 1, 6 (п. 6.2.5, 6.2.6, 6.3.2, 6.3.3, 6.4.18, 6.4.19, 6.4.20).

2. СП 50.13330.2012 «СНиП 23–02–2003 «Тепловая защита зданий». Разделы 1, 4 (пункты 4.3, 4.4), 5 (пункты 5.1, 5.2, 5.4 – 5.7), 6 (пункт 6.8), 7 (пункт 7.3), 8 (подпункты «а» и «б» пункта 8.1), 9 (пункт 9.1), приложение Г.

3. ГОСТ 25380–82 Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции.

4. ГОСТ 26253–84 Здания и сооружения. Метод определения теплоустойчивости ограждающих конструкций.

5. ГОСТ 26254–84 Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. (Не действует на данный момент).

6. ГОСТ 26629–85 Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций.

7. ГОСТ 30494–2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.

8. ГОСТ Р 54852–2011 Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций.

9. ГОСТ Р 54853–2011 Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера.

10. ГОСТ Р 56623–2015 Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

УДК 621.314.571.53.084

О СПЕКТРАХ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕЖИМОВ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ON SPECTRA OF NONLINEAR REGIMES OF VIBROACOUSTIC SYSTEMS

Алексей Иванович Федотов[1,2], Сергей Кузьмич Лисин[3,4]
Alexey I.Fedotov[1,2], Sergey K. Lisin[3,4]

[1]Российский государственный политехнический университет им. Петра Великого, Россия, Санкт-Петербург
[1]Russian state polytechnic University named after Peter the Great, Russia, St. Petersburg
(e-mail: alex3238024@yandex.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering
[3]Санкт-Петербургская инженерная академия
[3]St. Petersburg Academy of Engineering
(e-mail: lisinSK1@mail.ru)
[4]Российская инженерная академия
[4]Russianl Academy of Engineering

Аннотация: Рассмотрены некоторые особенности спектров нелинейных режимов виброакустических систем.

Abstract: Some features of the spectra of nonlinear modes of vibroacoustic systems are considered.

Ключевые слова: нелинейные режимы, виброакустические системы.

Keywords: nonlinear modes, vibroacoustic systems.

Механические, электромагнитные, звуковые, ультразвуковые колебания описываются методами математической физики, которым в рамках конкретного процесса ставятся задачи в соответствие с различными моделями и начальными условиями. Несмотря на функциональную общность видов колебаний каждый из них в отдельности обусловлен принципиально отличным носителем информации свойств соответствующих процессов или объектов. Однако динамические системы приема или передачи несущей информации могут быть идентифицированы. Вибрационные и виброакустические системы, несущая информация о

свойствах объекта которых реализуется электромагнитными или пьезоэлектрическими преобразователями, относятся к классу многофункциональных. Преобразователи колебаний находят широкое применение в энергетических установках, в средствах виброакустического контроля физико-механических свойств, неразрушающего контроля твердости материалов в том числе в режиме поиска резонанса, в технических средствах измерения перемещений, оснащаемых цифровыми устройствами и др. Особый интерес представляют математические модели исследования внутренних свойств и спектров частот в, так называемых, системах с виброзазором. То есть системы, свойства которых находятся в строгой зависимости с периодом колебаний. Схематизированная модель динамической системы представляется гармоническим осциллятором, преобразователем вибрации и элементом взаимодействия с объектом. В подобных вибрационных, виброакустических системах информация о свойствах объектов определяется параметрами нелинейных периодических режимов. Для исследования вибрации таких систем используются не только квазилинейные, асимптотические, но и точные методы. Наиболее известными методами в теории нелинейных колебаний являются методы малого параметра, гармонического баланса, фазового отображения, интегрирования в квадратурах, «сшивания» решений и ряд других [1]. Становятся актуальными задачи прогнозирования и синтеза нелинейных динамических режимов, имеющих важнейшее значение в мировой практике для повышения точности и эффективности методов и средств контроля вибрации. При измерении и контроле виброакустическими средствами свойств различных материалов образуется зазор между измерительным элементом преобразователя и поверхностью изделия. Перейдем к рассмотрению спектров моделей демпфированных колебаний вибрационной пьезоэлектрической системы. Динамическая система преобразователя имеет нелинейную характеристику, обусловленную существенным различием жесткости упругого подвеса измерительного наконечника в зоне и вне зоны его контакта с поверхностью контролируемого изделия. Восстанавливающая характеристика $f(\varsigma)$ в интервалах упругой характеристики выражается двумя различными функциями. Функции, составленные из линеаризованных отрезков в интервале, получили название кусочно-линейных. При этом выражения упругих характеристик в безразмерной форме для решений асимптотическим методом соответственно имеют вид:

$$f(\varsigma) = \begin{cases} \varsigma, \varsigma \le 1, \\ 1 + k(\varsigma - 1), \varsigma \ge 1. \end{cases}$$

В соответствии с методом гармонического баланса (метод Боголюбова Н.Н.) соответствующее решение записывается в виде $F(\varsigma,\alpha_0,\alpha,\psi)=0.$

Здесь $\psi=\xi\tau$, τ – безразмерное время. Относительно искомых переменных численно решается система 4 уравнений вида

$$F(\alpha_0,\psi_1)=0,\ F(\alpha,\psi_1,)=0,\ F(\alpha,\alpha_0,\psi_1)=0,\ F(\gamma,\psi_1)=0. \qquad (1)$$

Система (1) решается относительно α_0 и α – смещения центра колебаний и амплитуды колебаний (α поддерживается возмущающей силой с амплитудой η), ψ_1 – фазового параметра, γ – фазового сдвига. Уравнение $\varsigma(\psi_1)=1$, соответствует координате системы $\varsigma=1$ и фазовому параметру ψ_1. Выражение для определения смещения центра колебаний α_0 измерительного наконечника методом гармонического баланса принимает вид $\alpha_0=f(\psi_1)$. Смещение центра колебаний α_0 характеризует изменение амплитуды выходного сигнала.

Математическая модель такой системы должна отвечать не только условиям периодичности, но и адекватно отражать важные для исследователя свойства системы «объект – измерительный элемент» по естественным параметрам. Для определения физико-механических свойств системы, включая жесткость (твердость) объекта контроля необходимо исследовать амплитудные режимы. Получение первичной информации о свойствах динамической системы начинается с исследования свободных колебаний. На этапе оценки автономных свойств строится скелетная кривая, характеризующая спектр автономной системы при заданном снижении возмущающей силы ($\eta\to 0$) недемпфированных колебаний. Рассмотрим схему построения скелетной кривой вынужденных колебаний нелинейной системы. Следует отметить, что алгоритм построения скелетных кривых недемпфированных ($\nu=0$) и демпфированных вынужденных колебаний является достаточно общим. С этой целью используются зависимости (1), соблюдая условие $\alpha=\alpha(k=\xi)$. На рис. 1 приведена скелетная кривая 1 процесса недемпфированных вынужденных колебаний 2 с параметрами η=0.8, k=1.8. Ветви амплитудной частотной характеристики 2 займут положение 1 при возмущающем усилии $\eta\to 0$. Характеристика скелетной кривой определяется внутренними свойствами автономной системы.

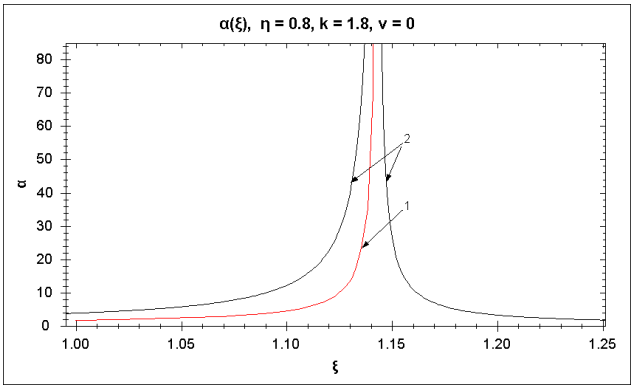


Рис. 1. Зависимость $\alpha=(k=\xi)$ при ν=0

Анализ виброакустической системы в режиме свободных колебаний предполагает оценку её внутренних свойств. Такие свойства, проявляясь при периодических воздействиях, существенным образом влияют на характер вынужденных колебаний. В число варьируемых параметров автономной системы входит смещение центра свободных колебаний. При этом величина смещения центра колебаний, зависящая от упругих свойств объекта, может быть использована в качестве критерия при контроле контактной жесткости его поверхности. В природе не существуют подвижные системы, которые не испытывали бы естественного или искусственного сопротивления своему движению. Демпфирование колебаний - есть способ принудительного подавления вибраций или уменьшения их амплитуд при воздействии внешних сил. Демпфирование механических колебаний имеет принципиальное значение для исследования свойств динамических режимов. В механических системах демпфирование колебаний может быть достигнуто увеличением трения между подвижными элементами. При этом необходима количественная оценка уровня демпфирования, приводящего к существенному изменению свойств той или иной динамической системы.

Для построения скелетной кривой демпфированных $(\nu \neq 0)$ вынужденных колебаний, влияющих на динамическую устойчивость, используется система (1), в которую ν входит как задаваемый параметр. На рис. 2 приводится скелетная кривая демпфированных вынужденных колебаний, построенная с соблюдением условия $\alpha = \alpha(k = \xi)$.

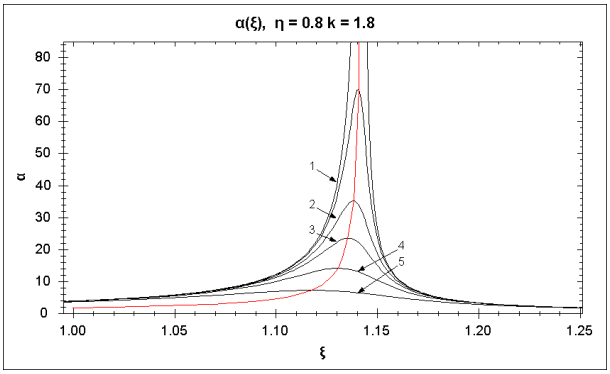


Рис. 2. Зависимость $\alpha=(k=\xi)$ при ν>0

Амплитудные частотные характеристики 1, 2, 3, 4, 5 с уровнем демпфирования ν соответственно 0.005, 0.01, 0.015, 0.025, 0.05 образуют спектр значений устойчивых амплитуд вынужденных колебаний. Составляющие уровня демпфирования, являясь по сути критериями устойчивости, преобразуют неустойчивый режим в совокупность устойчивых режимов.

Амплитудные частотные характеристики 1, 2, 3 с уровнем демпфирования ν - 0.005, 0.01, 0.015 (рис. 3) вынужденных колебаний представляют режимы при k = 1,2, k = 1,5, k = 1,8. Параметр k является числовой характеристикой жесткости поверхности объекта контроля. Амплитудные частотные характеристики позволяют качественно и количественно представить порядок изменения значений амплитуд в соответствии с меняющимися физико-механическими свойствами объекта исследования.

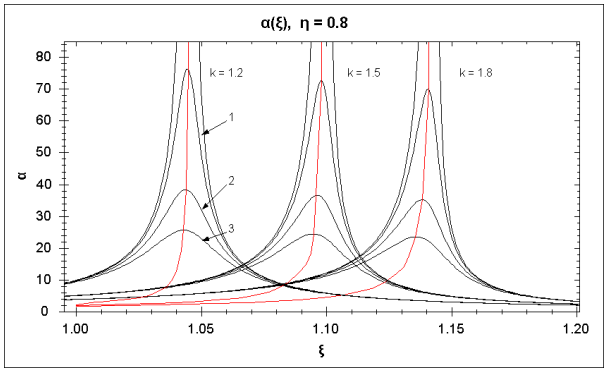


Рис. 3. Зависимости $\alpha(\xi)$ с учетом локальных свойств системы

Из изложенного следует, что полученные результаты исследования математической модели вынужденных колебаний представляют собой зависимости амплитуды $\alpha(\xi)$ и $\alpha(k)$ демпфированных и недемпфированных колебаний вибрационно-акустической системы. Исследования модели колебаний позволяют обеспечить проведение обоснованного прогнозирования физико-механических свойств системы. В процессе изучения, проектирования и применения средств вибрационного контроля приведенная математическая модель включает в рассмотрение параметры жесткости или твердости, которые характеризуют локальные свойства контролируемого материала изделия. При этом рассматриваемая модель позволяет предопределить формат идентификации режимов вынужденных колебаний.

Для построения фазовых частотных характеристик $\gamma(\xi)$ демпфированных колебаний с учетом физико-механических свойств системы использованы зависимости (1). На рис. 4 приведены совокупности фазовых частотных характеристик $1-\nu=0.005$, $2-\nu=0.01$, $3-\nu=0.015$ демпфированных режимов вынужденных колебаний $\eta=0.8, k=1.2$ и $\eta=0.8, k=1.8$.

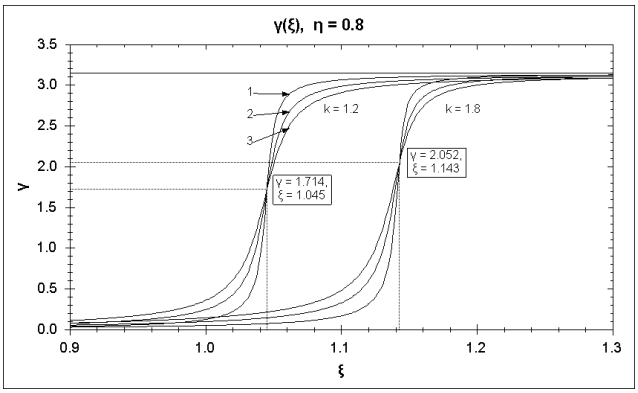


Рис. 4. Зависимости $\gamma(\xi)$ с учетом локальных свойств системы

В понимании данной задачи фазовые частотные характеристики представляются как частотные зависимости разности фаз между режимами вынужденных демпфированных колебаний. На графиках фазовых частотных характеристик приведены значения фазовых углов и соответствующих частот режимов колебаний $\gamma=1.716$, $\xi=1.045$; $\gamma=2.052$,. $\xi=1.143$. Мы имеем возможность еще раз убедиться в том, что характеристика $\alpha(k)$ жесткости объекта контроля находится в количественной взаимосвязи с амплитудой колебаний и её пиковым значением. Приведенные соотношения

обеспечивают возможность определения амплитудно-частотных характеристик виброакустической системы и выбора режимов вибрационного контакта измерительного наконечника преобразователя. Рассматриваемая расчетная модель строится с учетом упругих свойств измеряемого объекта. Вибрационные измерительные системы широко применяются в средствах измерительной техники, в средствах диагностики, в физико-технических средствах, оснащаемых цифровыми устройствами, свойства которых находятся в строгой зависимости с режимом колебаний. Для обеспечения контроля механических свойств материалов изделий представляются актуальными вибрационные системы и средства, реализующие режимы взаимодействия с исследуемым объектом. Процесс повышения точности измерений, это процесс, который разрешается за счет создания моделей, методов измерений и процедур измерений.

Список литературы

1. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. – М.: Наука, 1974. – 504 с.

УДК 544.4

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГАЗИФИКАТОРОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОТХОДОВ
FEATURES OF DESIGNING OF GASIFIERS FOR MUNICIPAL WASTE PROCESSING

Тарасов Георгий Александрович[1], Новаковский Дмитрий Владиславович[3], Молоканов Александр Александрович[1,2], Плишкин Николай Алексеевич[1], Яновский Леонид Самойлович[1,2,3]
Tarasov Georgij Aleksandrovich[1], Novakovskij Dmitrij Vladislavovich[3], Molokanov Aleksandr Aleksandrovich[1,2], Plishkin Nikolaj Alekseevich[1], YAnovskij Leonid Samojlovich[1,2,3]

[1] ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН, Россия, Черноголовка
[1] Federal Research Center of Problems of Chemical Physics and Medicinal Chemistry
[2] Российская инженерная академия, Россия, Москва
[2] Russian Engineering Academy, Russia, Moscow
[3] Московский авиационный институт, Россия Москва
[3] Moscow Aviation Institute, Russia, Moscow

Аннотация: В работе рассмотрены проблемы, связанные с непостоянством сырья, возникающие в газификаторах при переработке в них не сортированных муниципальных отходов. Определено влияние взаимных эффектов при термическом разложении полипропилена и целлюлозы на динамику процесса газовыделения. Предложено решение, которое позволит на стадии проектирования ПГ уменьшить влияние состава муниципальных отходов на стабильность эксплуатации.

Annotation: The paper considers the problems associated with the variability of raw materials that arise in gasifiers during the processing of non-sorted municipal waste in them. The influence of mutual effects during the thermal decomposition of polypropylene and cellulose on the dynamics of the gas release process is determined. A solution has been proposed that will allow at the design stage of the PG to reduce the impact of the composition of municipal waste on the stability of operation.

Ключевые слова: кинетика, переработка, совместный пиролиз, целлюлоза, полипропилен.

Keywords: kinetics, processing, joint pyrolysis, cellulose, polypropylene.

Прямое сжигание является самой распространенной и хорошо адаптированной технологией для переработки отходов в энергию [1]. Но для широкого применения в России, и особенно в регионах с маленькой плотностью населения, она имеет ряд существенных недостатков, крайне тяжело экономически эффективно встроить мусоросжигательные заводы (МЗС) в систему.

Без глубокой сортировки отходов, для работы с электрическим КПД больше15-20%, необходимо будет использовать существенное количество (относительно требования для получения статуса ВИЭ) добавочного топлива, что также усложнит ввод МЗС.

Проведенные в [2] исследования показывают, что капитальные затраты для строительства МЗС сильно возрастают при снижении проектировочной пропускной способности.

Выше описанные проблемы делают эксплуатацию МЗС с классическими технологиями прямого сжигания за пределами центральной части России в ряде случаев не эффективной.

Альтернативой прямому сжиганию является газификация. Реализация этой технологии в виде противоточного газификатора показала свою экологическую и энергетическую эффективность [3].

Ввиду того, что технология газификации изначально создавалась для переработки сырья с фиксированным составом (угли, сланцы и т.д.), в настоящее время наблюдается нехватка научно-технического задела для решения проблемы использования в качестве топлива отходов с непостоянным составом отходов, в том числе и муниципальных. Как следствие, широкое внедрение эффективных промышленных газификаторов для переработки муниципальных отходов затруднительно.

Одной из существенных проблем при эксплуатации газификаторов является поддержание стабильности положения и профиля температуры зоны газификации. Это – комплексная задача, решение которой закладывается на этапе проработки технологии, и которая существенно усложняется в условиях переменного состава сырья.

В работах [4] показано, что существует не аддитивное взаимодействие между целлюлозой и полипропиленом при их совместном разложении, но не представлено достаточных данных о кинетике реакции в газовой фазе.

В данной работе были проведены исследования особенности кинетики совместного термического разложения углевода (х/б ткань) и полиолефина (полипропилен) в газовой фазе, взятых в качестве моделей компонентов муниципальных отходов.

Исследования включали в себя изучения термического разложения без доступа окислителя при температурах 420 и 430°С указанных

образцов как индивидуально, так и в смеси в пропорции 1 к 1 в тех же условиях. Целью было оценить характер не аддитивности скорости реакций в газовой фазе и определить его величину путем сравнения констант скорости реакции при температурах опытов с рассчитанными аддитивно из результатов экспериментов с индивидуальными образцами.

Исследования проводились на манометрической установке [5], представленной на рис. 1. Навеска испытуемого образца помещается в реакционный стеклянный сосуд – 1. При необходимости она может быть заморожена в жидком азоте. После того, как навеска загружена, из сосуда вакуумным насосом 12 откачивается воздух и трубка – 3 запаивается при помощи газовой горелки у основания мембраны – 2. Реакционный сосуд с запаянной навеской, стеклянной мембраной и припаянной стрелкой устанавливается в камеру компенсации давления - 5. Далее из камеры компенсации давления вакуумным насосом – 12 откачивается воздух, и ее устанавливают в термостат – 6. Регулировка температуры опыта осуществляется по показаниям термопары – 7, сигнал с которой поступает в систему управления температурой – 8. Положение стрелки определяется визуально по отклонению стрелки от нулевого положения при помощи окуляра – 9. Для определения давления внутри реакционного сосуда в камеру компенсации давления из баллона 13 через систему регулирования давления 11 в камеру подается азот или воздух до тех пор, пока стрелка не примет нулевое положение, после чего снимаются показания с вакуумметра или манометра – 10.

При обработке получены константы скорости реакции для отдельных компонентов и смеси в пропорции 1 к 1 при температурах 420 и 430°С, а также аддитивно рассчитанные константы по результатам вычислений, которые сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Константа скорости реакции k, $с^{-1}$ полученная в опытах и вычисленная аддитивно

t, °С	Х/Б ткань	Полипропилен	Х/Б+ПП (1/1)	Х/Б+ПП (1/1) Аддитивно
420	0,0117	$4,2*10^{-4}$	0,0017	0,056
430	0,0132	$4,7*10^{-4}$	0,0023	0,064

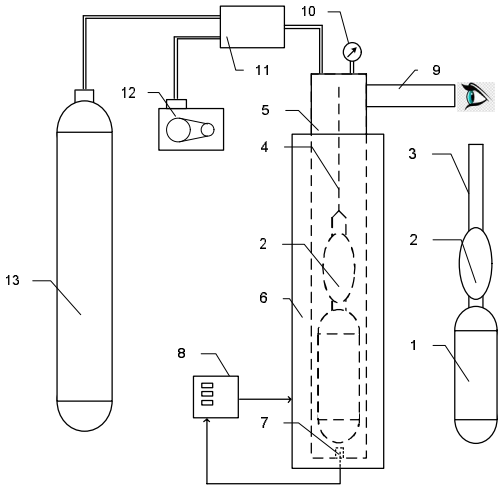


Рис. 1. Манометрическая установка для исследования кинетики в газовой фазе. 1 – реакционный сосуд из стекла; 2 – манометрическая стеклянная мембрана; 3 – трубка из стекла до загрузки образца и установки в камеру 5; 4 – стрелка из стекла; 5 – металлическая камера компенсации давления; 6 – твердотельный термостат; 7 – термопара; 8 – система управления температурой термостата; 9 – окуляр для определения нулевого положения стрелки; 10 – вакуумметр и манометр; 11 – система регулирования давления в камере 5; 12 – насос вакуумный; 13 – баллон с азотом.

На рис. 2 показаны кинетические кривые газовыделения в опытах со смесями, быстрый рост давления на начальном этапе связан с активным разложением целлюлозы. Полипропилен разлагается значительно медленно, это видно также из приведённых констант скорости реакции в таблице 1.

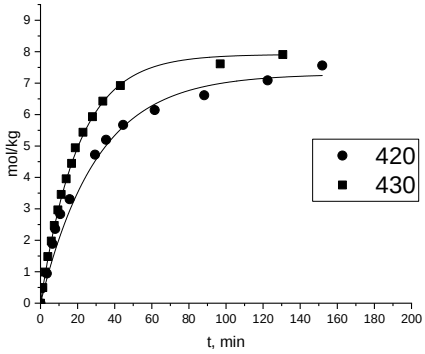


Рис. 2. Кинетические кривые разложения смеси образцов полученные в опытах

Однако, если сравнить константы скорости реакции полученные для смеси и ожидаемые из аддитивного расчета получается, что они меньше в три раза (рис. 3).

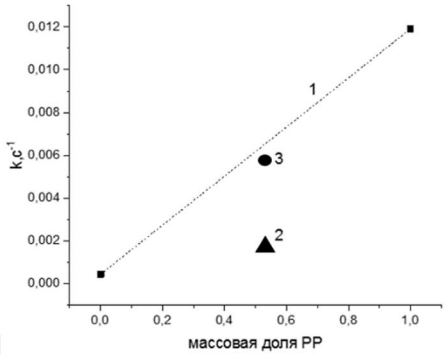


Рис. 3. Зависимость константы скорости реакции смеси полипропилена и целлюлозы в зависимости от содержания полипропилена. 1 – линейная аппроксимация изменения константы скорости реакции; 2 – константа, полученная в опыте; 3 – константа, вычисленная по газовыделению в одельных опытах.

Полученные данные согласуются с данными термогравиметрических анализов, встречаемыми в литературе. В некоторых моделях, замедление реакции обусловливается тем, что водород, образующийся во время разложения целлюлозы, вступает в реакцию с образующимися в результате разложения полипропилена непредельными углеводородами.

Полученные данные можно использовать для составления математических моделей проектируемых газогенераторов. С их помощью, на этапе проектирования, можно оценивать изменение гидродинамики газового тракта, что позволит в дополнении к существующим методикам и другим математическим моделям более точно оценивать рабочие характеристики и формировать более точные узлы и сигналы управления работой в дальнейшем при эксплуатации.

Для реализации данной модели предлагается в части кинетики газовыделения закладывать уравнение первого порядка:

$$n = n_{\infty\text{ну}}\big(1 - exp(-kt)\big) \qquad (1)$$

где $P_{\infty\text{ну}}$ – конечное газовыделеник при экстраполяции на бесконечное время проведения реакции, моль/кг; k – общая для заданной смеси константа скорости реакции, с-1. t – время, с.

Образующийся газ будет монокомпонентным, его свойства будут рассчитываться по уравнению идеального газа на основе среднего состава.

Таким образом, не прибегая к сложным моделям, использующим множества уравнений, можно рассчитать целый ряд возможных комбинаций составов несортированного сырья и отследить как конкретная установка будет реагировать на его изменение в процессе эксплуатации.

Выводы

Непостоянство сырья вызывает сложности при реализации технологий противоточной газификации из-за того, что в переменных режимах наблюдается нестабильность слоя газификации. Это усугубляется не аддитивными эффектами, возникающими при термическом разложении смесей различных веществ.

Показано, что при термическом разложении смеси углеводов и полиолефинов возникает аддитивный эффект. В выражении через константу скорости реакции при одинаковых температурах его величина в 3 раза меньше в реальном опыте по сравнению с аддитивным расчетом.

Предложенный способ учета синергетических эффектов путем создания моделей установок, включающих в себя упрощенную кинетику газоотделения, основанную на константе скорости реакции, определенной для всей смеси перерабатываемого сырья, позволит дополнить существующие методы расчета информацией о влиянии взаимных реакций при термическом разложении отходов.

Список литературы

1. Соколова М. В. Повторное использование бытовых отходов // Современные инновации. 2017. №2 (16).

2. TWG, TWG Comments on Draft 1 of Waste Incineration BREF, 2003.

3. Манелис Г.Б., Полианчик Е.В. Технологии газификации в сверхадиабатическом режиме для решения экологических проблем энергетики // АЭЭ. 2008. №2.

4. Suriapparao, D.V., Ojha, D.K., Ray, T. et al. Kinetic analysis of co-pyrolysis of cellulose and polypropylene. J Therm Anal Calorim 117, 1441–1451 (2014).

5. Tarasov G.A. & Molokanov A.A. & Plishkin N.A & Kazakov Ilxom & Varlamova N.I. & Yanovskiy L. & Larikova T.S. (2021). A complex of manometric methods for studying thermophysical, thermochemical properties and thermal stability of energy-intensive compounds. Journal of Physics: Conference Series. 1891.

УДК 69+659.562:62-192:006.354

НА ПУТИ К УСТОЙЧИВОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ
TOWARDS SUSTAINABLE CONSTRUCTION

Вячеслав Рувимович Фаликман[1,2]
Vyacheslav R. Falikman[1,2]

[1]Научно-исследовательский центр «Строительство», Россия, Москва
[1]Scientific Research Center "Construction", Russia, Moscow
(e-mail: vfalikman@yandex.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering

Аннотация: Рост мирового населения и интенсивная урбанизация требуют значительного увеличения объемов строительных работ и использования материалов. Существующие методы управления строительством и сооружениями далеки от требований устойчивого развития. Переориентация строительного сектора представляет собой серьезную проблему, требующую решительного и постоянного внимания. Основными факторами, способствующими этому процессу, являются целенаправленное совершенствование законов и правил, финансовые стимулы, а также научные исследования и образование. Предлагаемые оперативные инструменты для проектирования и управления целостностью зданий и инфраструктуры включают прямой учет экономики замкнутого цикла, оценку экологического воздействия деятельности человека на окружающую среду, более широкое использование передовых методов моделирования и анализа, а также целенаправленное использование новых технологий, включая обработки и хранения данных.

Abstract: Global population growth and rapid urbanization demand enormous construction activities and materials use. Current practices for the management of construction and structures are far from sustainable. Redirecting the construction sector comprises a major challenge which necessitates strong and persistent focus. Major facilitators for this transformative change are identified as targeted improvements of codes and regulations, financial incentives together with research and education. Suggested operational instruments for design and integrity management of buildings and infrastructure include explicit consideration of circular economy, life cycle environmental impact assessments, increased use of advanced modeling and analysis methods as well as targeted utilization of new technologies, including data processing and storage technologies.

Ключевые слова: Устойчивое строительство, экономика замкнутого цикла, оценка экологического воздействия деятельности человека на окружающую среду, использование новых технологий, инициатива GLOBE.

Key words: Sustainable construction, circular economy, life cycle environmental impact assessments, utilization of new technologies, the GLOBE initiative.

> «Мы должны научиться у природы основному уроку: на нашей планете ничто не может выжить, если оно не входит в единое целое как неотъемлемая его часть»
>
> (*Барри Коммонер*)

С началом двадцать первого века мир вступил в новую эпоху [1, 2]. В последние пять лет, ставшие самыми теплыми за всю историю наблюдений [3], риски, связанные с изменением климата, проявились наиболее явно и увеличивались быстрее, чем ожидалось [4]. Стихийные бедствия, связанные с изменением климата, такие как засухи, экстремальные осадки, лесные пожары и ураганы, становятся все более серьезными и частыми. По сообщениям, в текущее время в мире, в среднем, происходит более одного бедствия в неделю [5].

В докладе Всемирного экономического форума (ВЭФ) "Глобальный риск 2020" [4] указывается, что основным долгосрочным и нерегулируемым риском является провал предпринимаемых мер по смягчению последствий изменения климата, что может привести к чрезвычайной ситуации планетарного масштаба - прежде всего, гибели людей и разрушению экосистем. Фактически уже сегодня растущее число и тяжесть бедствий являются причиной огромного экономического ущерба и человеческих потерь, особенно в тропических регионах планеты [6]. В частности, сообщалось, что мировой экономический урон от стихийных бедствий в 2018 году составил более 165 млрд долларов США [5]. Национальный комитет по оценке климата США подсчитал, что экономические потери, связанные с климатом, к 2100 году только в США могут достичь 10% валового внутреннего продукта [7].

Более того, некоторые экосистемы находятся под таким мощным давлением, что, помимо возможности вымирания отдельных видов животных и растений, беды непременно коснутся и жизни человека. Так, одним из наиболее известных рисков является повышение уровня моря из-за таяния полярных ледников. Оно оценивается значением примерно в 30 см к 2050 году и, при наихудшем сценарии, до 2 м к концу века [8-10]. Это означает, что при высоких выбросах в атмосферу находятся в опасности не только более миллиарда человек, живущих сегодня на

суше [11], но и то, что таяние ледников может изменить течение Гольфстрима с дальнейшим нарушением экосистемы и серьезными изменениями в характере и без того суровых погодных условий [12].

Другой значительный и пока малоизвестный риск, связанный с таянием ледников – это выброс углекислого газа, обусловленный размораживанием почвы вечной мерзлоты вокруг полюсов. Согласно недавним исследованиям [13, 14], около 50-150 Гт органического углерода из вечной мерзлоты может быть выброшено в атмосферу в виде парниковых газов к 2100 году в результате его окисления при воздействии солнечного света, значительно усиливая глобальное потепление.

В 2020 году глобальные температуры были выше доиндустриального уровня примерно на 1°C [3]. Согласно текущей тенденции, в период с 2030 по 2052 год глобальная температура, вероятно, достигнет 1,5°C [15], в то время как, по оценкам UNEP Emission Gap Report 2019, к концу века температура поднимется как минимум до 3°C [16]. Чтобы избежать катастрофических экономических, социальных и экологических последствий, климатологи считают, что повышение температуры должно быть ограничено 1,5°C [15]. Это означает, что для человечества оставшийся «углеродный бюджет» составляет менее 10 лет выбросов на текущем уровне, что приблизительно равно 420 Гт CO_2 [17].

После принятия мировым сообществом в 1992 году в Рио-де-Жанейро концепции устойчивого развития, в которой особая роль отводится сфере строительства, состоялось несколько крупных международных конференций по устойчивому строительству, роли строительства в окружающей среде и ряд других знаковых для отрасли мероприятий. На них было определено понятие «устойчивого строительства» как «создание и ответственное поддержание здоровой искусственной среды обитания, основанной на эффективном использовании природных ресурсов и экологических принципах».

По данным международных агентств, на сектор строительства в 2018 году приходилось 36% общего энергопотребления и 39% выбросов углекислого газа, 11% из которых приходятся на производство строительных материалов и изделий, таких как сталь, цемент и стекло. Российская Федерация входит в первую пятерку стран по выбросу парниковых газов (Китай – 28%, США – 18%, Индия – 7%, Россия – 5% и Япония – 3%).

От четверти до половины этих выбросов связана с производством цемента, а остальная часть - с производством других строительных материалов, транспортом и строительными процессами. На текущую эксплуатацию и техническое обслуживание зданий приходится дополнительно почти 30% глобальных выбросов (в CO_2–эквиваленте).

Уже сегодня, по данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC), если не предпринять необходимые действия для сокращения выбросов углекислого газа, примерно через 30 лет концентрация CO_2 достигнет 450 промилле – опасной точки, выше которой в мире произойдут необратимые климатические изменения [15].

В 2019 году выбросы CO_2 от строительного сектора стали самыми высокими за всю историю наблюдений и составили около 10 Гт CO_2 в год (38% от общих мировых выбросов), несмотря на то, что глобальные обязательства по декарбонизации строительства постоянно растут с учетом требований, установленных до 2050 года, целевой даты для достижения нулевого уровня выбросов углекислого газа в атмосферу в процессе возведения и реконструкции всех зданий и инфраструктуры [18].

В рамках такого сценария Организация Объединенных Наций заявила, что в середине 2019 года население мира достигнет 7,7 миллиарда человек с темпами роста, близкими к 1% в год, прибавив один миллиард человек с 2007 года и два миллиарда с 1994 года [19]. Ожидается, что численность населения мира достигнет 8,5 млрд человек к 2030 году и 9,7 млрд человек в 2050 году, причем Африка к югу от Сахары станет движущей силой роста численности населения мира, а в ряде других регионов (таких, как Азия, Латинская Америка, Европа и Северная Америка) численность населения, напротив, будет снижаться или оставаться на прежнем уровне. В то же время Всемирный прогноз урбанизации [20] свидетельствует о том, что наиболее развитые регионы уже к 2018 году были высоко урбанизированы (около 79% их населения проживает в городах или поселках), а прогнозируемая доля городского населения в них к 2050 году достигнет 87%. Менее развитые регионы будут характеризоваться высокими темпами урбанизации, вырастающей с 50% до 65% в течение следующих трех десятилетий. Например, только в Индии в период с 2019 по 2023 год в городских регионах было или будет построено около 20 миллионов домов. Поэтому строительная отрасль будет призвана отвечать одновременно на две, казалось бы, несовместимые потребности человека: сохранить окружающую среду и поддержать рост населения путем обеспечения жильем и инфраструктурой.

Бетон, основной материал строительства, хотя и является более экологичным в расчете на килограмм по сравнению с другими строительными материалами, такими как сталь, стекло, древесина и кирпич [21], оказывает очень большое воздействие на окружающую среду из-за огромного объема его использования, оцениваемого более чем в 10 миллиардов кубических метров в год. Так, только в 2019 году производство цемента составило 4,1 Гт [23]. Фактически, по оценкам, производство

бетона ответственно за 9% от общего объема выбросов парниковых газов [24], из которых 7-8% приходится только на цементные заводы [25]. Другими словами, если бы бетонная промышленность была отдельным государством, она была бы третьим по величине эмитентом CO_2 в мире, выбрасывая до 2,8 Гт в год: бетонную промышленность опережали бы только Китай (10,18 Гт) и США (5,29 Гт) [26]. Даже с учетом того, что потребности в энергии для производства цемента продолжают постепенно снижаться благодаря важным технологическим инновациям (например, новое оборудование для помола, новые сепараторы, печи сухого способа вместо печей мокрого способа и т.д.), уровень потребления тепловой энергии при производстве клинкера на современных цементных заводах составляет около 3,4 ГДж/т [27]. Принимая во внимание сегодняшнее среднее содержание клинкера в цементе равным 0,70, можно оценить потребление энергии только для цементной промышленности примерно в $1{,}4 \cdot 10^{10}$ ГДж/год, что составляет около 2-3% мирового энергопотребления [28]. Это больше, чем энергия, потребляемая всем жилым сектором в США в 2019 году [29].

Еще один важный вопрос, связанный с производством бетона, – это потребление сырья. Не только производство вяжущего требует огромного количества природных материалов (в среднем, для производства 1 т клинкера необходимо 1,22 т известняка и 0,31 т глины [30]), но и производство заполнителей оказывает сильное воздействие на окружающую среду из-за постоянного потребления невозобновляемых ресурсов и их истощения. Так, в США в качестве заполнителей для бетона ежегодно используется около 0,45 Гт природного песка и гравия (46% от общего объема песка и гравия, добываемого в США) [22].

Помимо большого спроса на природные заполнители, производство бетона требует и большого количества воды, недостаток которой все отчетливо ощущается во многих регионах мира. Забор воды для производства бетона в США составляет 65,7 км^3/год [31], что больше, чем забор воды всеми муниципалитетами (58,4 км^3/год) [32].

Рост мирового населения и интенсивная урбанизация естественным образом требуют увеличения объемов строительных работ и использования строительных материалов. Ожидается, что в течение следующих десяти лет общие потребности в землепользовании для застроенной среды удвоятся. Кроме того, в более развитых экономиках инфраструктура и расходы на содержание сооружений значительно возрастут.

Вполне очевидно, что современная практика управления строительством и сооружениями сегодня далеки от сформулированных требований устойчивого развития. Без кардинальных перемен выбросы

только от строительного сектора поставят под угрозу не только достижение целей Парижского соглашения, но и реализацию Киотского протокола.

По сравнению с другими отраслями промышленности, строительная отрасль, по-своему, уникальна. Во многих странах она обеспечивает более 10% ВВП. При этом она в значительной степени децентрализована и включает огромное количество организаций и участников. Между поставщиками услуг, владельцами и клиентами, как правило, нет или почти нет никакой интеграции. Повышенное внимание отрасли к строгому бюджетированию и предоставлению услуг при минимальных затратах создало среду, в которой усовершенствования применяемых технологий являются незначительными. Нередко рациональному потреблению материалов уделяется явно ограниченное внимание. Наконец, международные стандарты, кодексы и правила, регулирующие проектирование, строительство и эксплуатацию зданий и сооружений, развиваются слишком медленно, чтобы идти в ногу с инновациями и быстро растущим технологическим прогрессом, а также резко меняющимися потребностями общества. В некоторых частях мира их пересмотр происходит с интервалом в 20 и более лет и, как правило, представляет собой определенный компромисс между заинтересованными сторонами без имплементации передовых знаний для обеспечения безопасности и устойчивого развития.

В отчете «Наше общее будущее» [33], опубликованном Комиссией Брундтланд (ранее известной как Всемирная комиссия по окружающей среде и развитию – WCED), указывается, что управление застроенной окружающей средой не должно приводить к истощению природных ресурсов и наносить необратимый ущерб окружающей среде, как в местном, так и в мировом масштабе: оно должно быть сосредоточено на безопасности и на устойчивом развитии. Учитывая неминуемые глобальные проблемы, связанные с изменением климата, особое внимание, как уже отмечалось выше, следует уделять сокращению выбросов «парниковых газов» (ПГ). Таким образом, с учетом передовых практик строительной отрасли в национальном и глобальном масштабах должна быть разработана и принята новая парадигма управления застроенной средой.

В краткосрочной перспективе отсутствие устойчивого развития застроенной среды поначалу будет ощущаться на локальном уровне, но истинная проблема носит глобальный, общемировой характер, и глобальный экологический ущерб будет, несомненно, заметен в долгосроч-

ной перспективе. Следовательно, уже сейчас необходимы согласованные действия всех правительственных структур, как в национальном, так и в мировом масштабе.

За рубежом уже накоплен значительный опыт и достигнут заметный положительный результат внедрения в практику строительства системы экологического менеджмента, внедряются экологические знаки на продукцию, реализованы экологические проекты строительства в рамках «устойчивого развития», такие, например, как «Эколония», «PV – модули в энергосберегающих зданиях» и многие другие. По результатам этих «пилотных» проектов были сформулированы общие экологические принципы и тактика «устойчивого строительства». Так, по документам, утвержденным Британским правительством, «устойчивое строительство» – это строительство, поддерживающее здоровую экономику для обеспечения качества жизни и сохраняющее качества окружающей среды; минимизирующее ущерб, причиняемый окружающей среде и биологическому разнообразию, а также риск для человеческого здоровья; оптимально использующее невозобновляемые ресурсы.

Для того, чтобы человеческое общество добилось успеха в устойчивом развитии и смягчении катастрофических последствий изменения климата в глобальном и местном масштабах, необходимы трансформирующие и объединенные усилия всех заинтересованных сторон строительного сектора во всем мире.

Цель стартовавшего в начале октября 2021 года Глобального соглашения GLOBE (http://globe.rilem.net) состоит в привлечении внимания мирового сообщества, включая политиков, ведущие компании отрасли и директивные органы, к критической важности преобразованной человеком среды для устойчивого развития на глобальном и локальном уровнях. Со стороны всех заинтересованных сторон уже сегодня требуются срочные действия, чтобы гарантировать: застроенная окружающая среда будущего будет безопасной, социально защищенной, экологически и экономически устойчивой [34].

Программа GLOBE была инициирована участниками на междисциплинарном семинаре, совместно организованном в университете Тунцзи, Шанхай, КНР, членами Объединенного комитета по безопасности конструкций (JCSS) и Международного объединенного исследовательского центра по инженерной надежности и стохастической механике (CERSM). Инициатива GLOBE затем была официально принята JCSS и поддержана крупными международными ассоциациями строительной отрасли, включая RILEM, IABSE, *fib*, CIB, ECCS и IASS.

Сторонники GLOBE, подписавшие The Global Consensus on Sustainability in the Built Environment (GLOBE) (см.

https://www.rilem.net/article/globe-consensus-support-200), полностью осознают, что построенная среда – это гораздо больше, чем просто сооружения и инфраструктура. Она охватывает и вовлекает общество, в целом, окружающую среду, а также широкий спектр отраслей промышленности и профессий.

Для развития и реализации новых парадигм в рамках GLOBE совместными усилиями необходимо разработать стратегии в рамках экономики замкнутого цикла для проектирования, строительства, мониторинга, технического обслуживания и реновации застроенной среды. Они должны основываться на принципах безопасности, устойчивого развития и учитывать компромиссы между краткосрочными выгодами и долгосрочными негативными экологическими и социально-экономическими последствиями. Отрасль должна действовать с предвидением и действием на опережение, чтобы использовать все имеющиеся возможности, способствующие устойчивому развитию застроенной среды. Директивные и регулирующие органы должны понимать критическую роль застроенной среды и полностью поддерживать ее устойчивое развитие.

Для повышения устойчивого развития строительства неизбежно, что на поддержку дисциплинарных и междисциплинарных исследований и инноваций в технологических, организационных и нормативных усилиях должны постоянно выделяться значительные экономические ресурсы. Для достижения необходимых улучшений и применения передовых практик научные и инженерные сообщества должны сотрудничать с промышленными предприятиями, регулирующими органами и правительствами в целях содействия развитию и применению философии, основанной на экономике замкнутого цикла. Это сотрудничество обязательно должно включать методы, инструменты, финансовые стимулы и нормативные акты, которые обеспечивают устойчивое развитие и поддержание застроенной среды.

Основные приоритеты в области проектирования конструкций и управления проектами должны быть переориентированы с акцентом на обеспечение устойчивого развития наряду с безопасностью и надежностью, например, с точки зрения абсолютных требований к максимально допустимым выбросам «парниковых газов» по отношению к функциональности или техническому оборудованию. Необходимо разработать новые строительные материалы, оказывающие наименьшее воздействие на окружающую среду. Кроме того, следует провести переоценку в этом контексте известных, но в настоящее время недостаточно используемых строительных материалов. Стратегии и программы утилизации и повторного использования строительных материалов и конструкций

должны разрабатываться и осуществляться в соответствии с принципами устойчивого развития и экономики замкнутого цикла. Выбор требований к прочности, долговечности и сроку службы строительных материалов и конструкций должен осуществляться на основе минимизации воздействия на окружающую среду, анализа и оптимизации жизненного цикла (Life Cycle Assessment), а также вопросов технического износа и эффективности повторного использования и утилизации. Для повышения надежности застроенной среды необходимо использовать достижения в области информационных технологий и мониторинга состояния конструкций.

Распространение новых знаний и технологий должно быть ускорено за счет:

– пересмотра инженерных учебных программ для облегчения оценки устойчивого развития с помощью целостных и интегральных концепций;

– широкого распространения новых знаний и технологий через систему образовательных программ и подготовки студентов и специалистов всех уровней.

Наконец, политики и регулирующие органы должны обеспечить надлежащую подотчетность и контроль субъектов строительной отрасли на международном и региональном уровнях в отношении выбросов «парниковых газов» и других воздействий на местную и глобальную окружающую среду.

Определенные меры предпринимаются сегодня и в Российской Федерации. Появление новых строительных материалов, технологий и методов проектирования, большая программа импортозамещения, требования принятой Распоряжением Правительства РФ от 14 июля 2021г. N 1912-р «Об утверждении целей и основных направлений устойчивого (в том числе зеленого) развития РФ» концепции устойчивого развития приводят к необходимости постоянного обновления нормативной базы строительства, а расширение и углубление сотрудничества между государствами влечет за собой необходимость в гармонизации российских нормативно-технических документов с международными. При этом, согласно распоряжению правительства Российской Федерации №3052-р от 29.10.2021г., принятому во исполнение Указа Президента Российской Федерации от 4.11.2020 г. №666 «О сокращении выбросов парниковых газов», утверждена Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, а Федеральным органам исполнительной власти предписывается руководствоваться положениями Стратегии при разработке и реа-

лизации отраслевых документов стратегического планирования, государственных программ (подпрограмм) Российской Федерации и иных документов стратегического планирования.

С учетом поставленных задач реализация Стратегии развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов в строительной отрасли потребует актуализации соответствующей нормативно-технической документации. При этом очевидно, что вопрос снижения выброса парниковых газов целесообразно рассматривать в общем комплексе документов по устойчивому развитию в строительстве.

Вопросам разработки и внедрения принципов устойчивого развития и «зеленых стандартов» в строительстве была посвящена специальная сессия «Национальный зеленый стандарт: от слова к делу», недавно прошедшая в рамках деловой программы Петербургского международного экономического форума 2022 года.

Руководитель Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Антон Шалаев обратил внимание участников на то, что в конце мая 2022 года Минстроем России был утвержден план мероприятий («дорожная карта») по разработке «зеленых» стандартов в сфере строительства, в соответствии с которой Росстандарт уже принял национальный стандарт ГОСТ Р 70346-2022 «Зеленые» стандарты. Здания многоквартирные жилые «зеленые». Методика оценки и критерии проектирования, строительства и эксплуатации. Разработка стандарта велась компанией «Дом.РФ» совместно с крупнейшими застройщиками, и он стал первым примером распространения принципов «зеленого» строительства на объекты жилой недвижимости. Уже в этом году начнется оценка как строящегося, так и построенного российского жилья, с выдачей сертификатов о соответствии проектов требованиям нового ГОСТ Р.

Там же мэр Вологды Сергей Воропанов представил уникальный проект первого муниципального экологического стандарта, который может стать прототипом национального стандарта, что даст возможность его тиражирования в качестве наилучшей практики.

Один из крупнейших российских производителей цемента и строительных материалов «Евроцемент груп» объявил о разработке стратегии в области устойчивого развития на пятилетний срок. Стратегия обеспечит системный подход к развитию практик устойчивого развития и заложит основу для трансформации бизнес-процессов компании.

ESG-стратегия Евроцемента состоит из шести приоритетных направлений, в которых сформулированы конкретные цели компании и проекты по их достижению. В число приоритетных направлений вошли

охрана окружающей среды и борьба с изменениями климата, охрана труда и здоровье, промышленная безопасность и аварийное реагирование, управление персоналом, развитие территорий, корпоративное управление.

В рамках экологического направления основные усилия компании будут сконцентрированы на снижении углеродного следа при производстве цемента не менее, чем на 7% на ближайшую перспективу. В ближайшие 5 лет менеджмент Евроцемента сосредоточится на использовании биотоплива, уменьшении содержания клинкера в цементе, увеличении энергоэффективности оборудования, лесонасаждении. Использование техногенных отходов поможет сократить выбросы CO_2 на 20%.

Понятно, что все это – только начало. Устойчивое строительство – это строительство, которое способствует созданию и здоровой жизни устойчивых городов, устойчивых регионов и стран, обеспечению устойчивого развития общества. Оно в значительной степени связано с экологизацией городов, с их экореконструкцией, с экологизацией человеческой деятельности в городах и с экологизацией зданий и инженерных сооружений, с экологизацией широкого круга человеческих потребностей. Экологизация городов, зданий и инженерных сооружений связана, в свою очередь, с экологичной реставрацией всех компонентов ландшафтов, с восстановлением экологического равновесия между городом и природной средой. В то же время устойчивое строительство должно способствовать и другим условиям устойчивого развития, – например, поддержке совместной деятельности жителей по созданию красивого города, по организации экологического образования и воспитания в процессе жизни населения, по обеспечению устойчивого развития города [35].

Выводы

Современное строительство немыслимо без бетона, мировой объем производства и потребления которого составляет более 9 млрд $м^3$ в год. С учетом постоянного роста населения планеты к 2050 году ожидается удвоение этого объема, что, несомненно, фатально скажется на энергопотреблении и увеличении глобальных выбросов CO_2 в атмосферу.

Вместе с тем, бетон и железобетон как строительный материал в наибольшей степени отвечает критериям устойчивого развития [21], главными из которых являются:

- повышенная прочность и долговечность, огнестойкость и огнесохранность;
- сочетаемость с другими видами материалов;
- высокие эстетические и архитектурные качества;

• экологическая безопасность на стадиях производства и эксплуатации;

• минимальное изъятие природных ресурсов и максимальное использование попутных продуктов (отходов) других отраслей;

• перерабатываемость использованного материала для строительных или иных нужд.

В 2016 году ФИБ приступила к работе над новым Модельным кодексом 2020 в рамках Комиссии 10 и Рабочей группы 10.1. Новый модельный кодекс ФИБ будет разработан как единый кодекс проектирования новых и уже существующих конструкций. Такое видение выходит далеко за пределы, достигнутые в Модельном кодексе 2010, в последних документах ISO, такими, например, как ISO 16311, и в нынешнем Еврокоде 2. Важно подчеркнуть, Модельный кодекс 2020 должен стать нормами проектирования, которые признают важность подхода к устойчивому развитию и содержат руководящие принципы для последовательного учета требований устойчивого развития применительно к новым и существующим конструкциям [36].

Нынешние подходы к обеспечению устойчивого развития строительства из конструкционного бетона уже явно недостаточны. На сегодняшний день единственной реальной стратегией, способной глобально снизить воздействие бетона на окружающую среду, является использование технологий улавливания, использования и хранения углерода (CCUS) для устранения выбросов CO_2, возникающих при производстве портландцемента, и, в то же время, для создания искусственных заполнителей и активных минеральных добавок-заменителей цемента в дополнение к уже используемым, которые могут еще больше снизить воздействие бетона на окружающую среду за счет уменьшения коэффициента использования клинкера. С другой стороны, альтернативные портландцементу вяжущие материалы, включая нетрадиционные цементы и вяжущие щелочной активации, все еще далеки от того, чтобы заменить значительную часть из 4,1 Гт цемента, производимого ежегодно, как по вопросам обеспечения долговечности, так и по проблемам, связанным с непостоянством свойств и дефицитом сырья. Кроме того, использование добавок и технологий для увеличения срока службы железобетонных конструкций, безусловно, необходимо, но не может решить проблемы устойчивого развития строительства, если рассматривать их по отдельности. Необходимы пересмотр и обновление существующих стандартов и норм проектирования, а также повышение уровня образования проектировщиков, исследователей и подрядчиков с целью ознакомления с новейшими технологиями в области бетона и их надлежащей практикой применения на стройплощадке.

На смену уже во многом выработавшей себя «цементной стратегии», направленной на снижение нагрузки на окружающую среду за счет совершенствования технологических процессов производства цемента, уменьшения в нем доли клинкера, создания новых вяжущих [21, 37], приходят новые, учитывающие последние достижения в области технологии бетона и расчета конструкций на основе их полного жизненного цикла. Они могут стать основой для решения глобальной задачи – сдержать все возрастающую нагрузку на окружающую среду, обеспечив 50%-ное снижение эмиссии CO_2 и энергопотребления в строительном производстве. Отсюда особую остроту приобретает ставшая крылатой фраза П.К. Мехта: "…будущее индустрии цемента и бетона будет в значительной степени зависеть от нашей способности взаимоувязать их рост с целью устойчивого развития…" [38].

Ассоциация «Железобетон» и Международная инженерная академия, присоединившиеся к GLOBE, предлагают создать рабочую группу экспертов по устойчивому развитию строительства, которая может оказывать поддержку как региональным, так и государственным органам власти, создавая техническую основу для принятия законодательных решений и обеспечивая взаимодействие с международными организациями, в которых они представлены (RILEM, *fib*, ACI, ACF).

Список литературы

1. Caldeira K., Wickett M.E., Anthropogenic carbon and ocean pH. Nature, 425, 2003, p. 365.

2. Solomon S., Plattner G.-K., Knutti R., Friedlingstein P., Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. Proc. Natl. Acad. Sci., 106, 2009, pp. 1704–1709.

3. National Centers for Environmental Information. National Oceanic and Atmosphere Administration of USA, Climate Monitoring Data, 2021.

4. World Economic Forum. The Global Risks Report 2020, 2020.

5. Swiss Re Institute. Natural Catastrophes and Man-made Disasters in 2018: "Secondary" Perils on the Frontline, 2019.

6. Coronese M., Lamperti F., Keller K, Chiaromonte F., Roventini A. Evidence for sharp increase in the economic damages of extreme natural disasters. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 116, 2019, pp. 21450–21455.

7. National Climate Assessment, Volume II: Impacts, Risks and Adaptation in the United States, Fourth National Climate Assessment, 2018.

8. Le Bars D., Drijfhout S., De Vries H. A high-end sea level rise probabilistic projection including rapid Antarctic ice sheet mass loss, Environ. Res. Lett., 12, 2017.

9. Frederikse T., Buchanan M.K., Lambert E, Kopp R.E., Oppenheimer M., Rasmussen D.J., van de Wal R.S.W. Antarctic Ice Sheet and emission

scenario controls on 21st-century extreme sea-level changes. Nat. Commun., 11, 2020, pp. 1–11.

10. Slater T., Lawrence I.R., Otosaka I.N., Shepherd A., Gourmelen N, Jakob L., Tepes P., Gilbert L. Review article: earth's ice imbalance. Cryosph. Discuss., 2020, pp. 1–21.

11. Kulp S.A., Strauss B.H. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. Nat. Commun., 10, 2019.

12. Yang H., Lohmann G., Wei W., Dima M., Ionita M., Liu J. Intensification and poleward shift of subtropical western boundary currents in a warming climate. J. Geophys. Res. Ocean, 121, 2016, pp. 4928–4945.

13. Bowen J.C., Ward C.P., Kling G.W., Cory R.M. Arctic amplification of global warming strengthened by sunlight oxidation of permafrost carbon to CO_2. Geophys. Res. Lett., 47, 2020, pp. 1–8.

14. Plaza C., Pegoraro E., Bracho R., Celis G., Crummer K.G., Hutchings J.A., Hicks Pries C.E., Mauritz M., Natali S.M., Salmon V.G., Schadel C., Webb E.E., Schuur E.A.G. Direct observation of permafrost degradation and rapid soil carbon loss in tundra. Nat. Geosci., 12, 2019, pp. 627–631.

15. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). United Nations, IPCC Special Report, 2018.

16. United Nations Environment Programme, Emission Gap Report 2019, 2019.

17. McSweeney R., Pearce R. Analysis: just four years left of the 1.5C carbon budget, Carbon Br. N.D. ,2017.

18. Global Alliance for Buildings and Construction. 2020 Global Status Report for Buildings and Construction. United Nations Environment Programme, 2020.

19. United Nations - Department of Economic and Social Affairs - Population Division. World Population Prospect 2019. 2019.

20. United Nations, Department of Economic and Social Affairs - Population Division, World Urbanization Prospect 2018, 2019.

21. Falikman V.R., Gusev B. V. Structural Concrete in the Age of Sustainable Development. ACI Technical Publication. SP-305 "Durability & Sustainability of Concrete Structures". 2015, 504 p., pp. 36.1 – 36.12.

22. U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2020, U.S. Department of Interior, 2020.

23. Sivakrishna A., Adesina A., Awoyera P.O., Rajesh Kumar K. Green concrete: a review of recent developments. Mater. Today Proc., 27, 2020, pp. 54–58.

24. Organization for Economic and Co-operation and Development (OECD). Global Material Resources Outlook to 2060, 2018.

25. Cadavid-Giraldo N., Velez-Gallego M.C., Restrepo-Boland A. Carbon emissions reduction and financial effects of a cap and tax system on an operating supply chain in the cement sector. J. Clean. Prod., 275, 2020.

26. Global Carbon Project. CO_2 Emissions by Country - 2019, 2020.

27. International Energy Agency (IEA). Cement, 2020.

28. Monteiro P.J.M., Miller S.A., Horvath A. Towards sustainable concrete, Nat.Mater., 16, 2017, pp. 698–699.

29. U.S. Energy Information Administration (EIA). U.S. Energy Facts Explained, 2020.

30. Coppola L., Coffetti D., Crotti E., Gazzaniga G., Pastore T. An empathetic added sustainability index (EASI) for cementitious based construction materials, J. Clean. Prod., 220, 2019, pp. 475–482.

31. Miller S.A., Horvath A., Monteiro P.J.M. Impacts of booming concrete production on water resources worldwide. Nat. Sustain., 1, 2018, pp. 69–76.

32. Food and Agricolture Organization of United Nations (FAO). AQUASTAT Database, 2015.

33. Report of the World Commission on Environment and Development: «Our Common Future». 1987, 300p.

34. Фаликман В.Р. GLOBE – новая инициатива профильных международных организаций в области устойчивого строительства. Бетон и железобетон, 2020, № 2 (602), С. 3–7.

35. Тетиор А.Н. Устойчивое развитие: Устойчивое проектирование и строительство. - М.: НИА-Природа, 1998. - 310 с.

36. Műller H.S., Fernández-Ordóňez D. The *fib* and its Model Code 2020 initiative. Вестник НИЦ «Строительство». Бетон и железобетон – проблемы и перспективы: Сб. статей. Вып. 1 (16) под ред. А.И. Звездова и В.Р. Фаликмана. – М.: ОАО НИЦ «Строительство». 2018. – 165 с., С. 143-158.

37. Гусев Б.В., Ин Иен-лян С., Кузнецова Т.В. Цементы и бетоны – тенденции развития. – М.: Научный мир, 2012. – 136 с.

38. Mehta P.K. Bringing the Concrete Industry into a New Era of Sustainable Development. Mario Collepardi Symposium on Advances in Concrete and Technology. Fifth CANMET/ACI International Conference Proceedings, Rome, 1997, pp. 49 – 67.

УДК 539.3

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ В ТЕОРИИ СТЕРЖНЕЙ
ON MATHEMATICAL MODELING IN THE THEORY OF RODS

Василий Васильевич Саурин[1,2]
Vasily V. Saurin[1,2]

[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, Москва, Россия
[1]Federal State Budgetary Institution of Science Institute for Problems in Mechanics A.Yu. Ishlinsky Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: На основе интегрального выполнения законов сохранения, а именно, закона сохранения энергии и закона сохранения количества движения, получены в явном виде все характеристики описывающие динамические процессы, происходящие в стержне постоянного сечения. Показано, что использование уравнений равновесия в дифференциальном виде для решения начально краевых задач требует дополнительного обоснования и дополнения.

Abstract: On the basis of the integral implementation of the conservation laws, namely, the law of energy conservation and the law of momentum conservation, all characteristics describing the dynamic processes occurring in a rod of constant cross-section are explicitly obtained. It is shown that the use of equilibrium equations in differential form for solving initial boundary value problems requires additional justification and adjunction.

Ключевые слова: упругий стержень, начально-краевая задача, законы сохранения.

Keywords: elastic rod, initial boundary value problem, conservation laws.

Рассмотрим задачу о продольных динамических деформациях упругого стержня постоянного поперечного сечения. Предположим, что продольные напряжения в стержне являются преобладающими настолько, что остальными компонентами тензора напряжений можно

пренебречь. Тогда для этого случая существует волновое уравнение (1-3)

$$E\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0, \qquad (15)$$

определяющее скорость распространения продольных упругих волн в стержне

$$v_s = \sqrt{E/\rho}. \qquad (16)$$

Здесь E – модуль Юнга, ρ – объемная плотность, u – функция перемещений точек стержня. Решением Даламбера для этого уравнения является сумма

$$u = u_1(v_s t - x) + u_2(v_s t + x), \qquad (17)$$

где u_1 и u_2 – произвольные одномерные функции переменных $v_s t - x$ и $v_s t + x$.

На этом возможности аналитического исследования динамики стержня в общем то исчерпываются. При этом не ясно является ли решение (17) полным для уравнения (15). В работе [2] даже утверждается, что (17) является общим решением уравнения (15).

В дополнение к предыдущим рассуждениям можно найти собственные частоты и соответствующие и собственные формы. Рассмотрим прямолинейный стержень постоянного сечения длины L. Для определенности зададим граничные условия

$$u(0) = 0, \quad u(L) = 0; \qquad (18)$$

Решение уравнения (15) будем искать в виде

$$u(x,t) = u_0(x)e^{i\omega t}, \qquad (19)$$

где ω–частота.

Для граничных условий (18) имеем следующий набор собственных значений и форм

$$\omega_n = \frac{v_s}{L}\pi n, \quad u_n = c\sin\left(\pi n\frac{x}{L}\right), \quad n = 1,2,\ldots \qquad (20)$$

Решение начально-краевой задачи (15) с граничными условиями (18) может быть представлено в виде бесконечного ряда

$$u(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty}\sin\left(\pi n\frac{x}{L}\right)\left(c_n^1\sin\left(\frac{v_s\pi n}{L}t\right) + c_n^2\cos\left(\frac{v_s\pi n}{L}t\right)\right) \qquad (21)$$

Неизвестные константы c_n^1 и c_n^2 находятся из начальных условий. Трудно представить себе, что решение (21) содержится в решении Даламбера (17).

Рассмотрим длинный однородный стержень постоянного сечения, показанный на Рис. 1, у которого один конец расположен в точке $x = 0$, а другой уходит в бесконечность. Материал, из которого сделан стержень, характеризуется модулем упругости E. Так, что

$$\sigma(x,t) = E\varepsilon(x,t), \qquad (22)$$

где $\sigma(x,t)$ – функция внутренних напряжений, а

$$\varepsilon(x,t) = \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \qquad (23)$$

– функция деформаций, возникающих в процессе движения стержня.

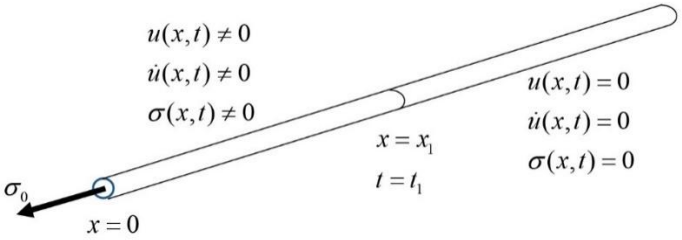


Рис.1. Полубесконечный однородный стержень.

Введем в рассмотрение функцию плотности количества движения p

$$p(x,t) = \rho \frac{\partial u(x,t)}{\partial t}. \qquad (24)$$

Тогда динамическое уравнение равновесия для стержня, связывающее инерционную силу с изменением напряжения по длине стержня, имеет вид

$$\frac{\partial \sigma(x,t)}{\partial x} - \frac{\partial p(x,t)}{\partial t} = 0. \qquad (25)$$

Используя соотношения (22)–(25), можно получить уравнение (15).

Предположим, что стержень в начальный момент времени находится в покое, т. е. перемещения и скорости всех точек стержня равны нулю

$$u(x,t) = \dot{u}(x,t) = 0, \quad t = 0. \qquad (26)$$

В этот же момент времени к левому концу стержня ($x = 0$) прикладывается сила σ_0. Считается, что в процессе движения стержня эта сила не меняется. Изучим изменение состояния стержня в процессе его движения. После того, как сила была приложена к стержню, стержень начинает двигаться, растягиваясь вслед за силой. При этом возмущение точек стержня, вызванные внешней силой распространяется в противоположную сторону. Следовательно область возмущения увеличивается в процессе движения.

Движение стержня происходит таким образом, что можно выделить некоторую точку $x=x_1$ и соответствующий момент времени $t=t_1$. Слева от этой точки состояния стержня считается возмущённым

$$u(x,t) \neq 0, \quad \dot{u}(x,t) \neq 0, \quad \sigma(x,t) \neq 0, \quad x < x_1, \quad t < t_1,$$

а справа остается невозмущенным

$$u(x,t) = 0, \quad \dot{u}(x,t) = 0, \quad \sigma(x,t) = 0, \quad x > x_1, \quad t > t_1.$$

Со временем положение точки x_1 меняется со скоростью v_f (скорость волнового фронта).

Для того чтобы описать динамическое поведение стержня нужно удовлетворить законы сохранения, а именно закон сохранения энергии и закон сохранения количества движения.

Рассмотрим простейший случай, в котором функция перемещений представляет из себя линейную функцию от пространственной координаты и времени

$$u(x,t) = a + bx + ct, \qquad (27)$$

где a, b и c – неизвестные константы. Очевидно, что функция (27) тождественно удовлетворяет уравнение (15). Предположим также, что скорость волнового фронта также постоянна $v_f = const$.

Для того чтобы вычислить изменения кинетической ΔT и потенциальной ΔW энергий а также работа внешних сил ΔA выделим малый элемент стержня с координатой $x = x_1$ и длиной Δx. Используя введенное постоянство скорости волнового фронта, можно видеть, что справедливо следующее равенство

$$\Delta x = v_f \Delta t. \qquad (28)$$

Здесь Δt – временной интервал, в течении которого произошло изменение в координате Δx. Тогда изменение кинетической энергии ΔT на этом интервале имеет вид

$$\Delta T = \rho \frac{v_d^2}{2} \Delta x, \qquad (29)$$

где v_d – скорость деформирования стержня

$$v_d = \frac{\partial u(x,t)}{\partial t}. \qquad (30)$$

Для изменения потенциальной энергии получим следующее выражение

$$\Delta W = \frac{\sigma_0^2}{2E} \Delta x \qquad (31)$$

При этом прирост совершенной работы внешней силой σ_0 есть

$$\Delta A = \frac{\sigma_0^2}{E} \Delta x. \qquad (32)$$

Тогда из закона сохранения энергии $\Delta T + \Delta W - \Delta A = 0$ находится скорость деформирования стержня

$$v_d = \frac{\sigma_0}{\sqrt{E\rho}}. \qquad (33)$$

Закон сохранения количества движения позволяет найти скорость волнового фронта v_f в явном виде. Для изменения количества движения p на заданном интервале Δx имеем следующее выражение

$$\Delta p = \rho v_d \Delta x. \quad (34)$$

Для приращения импульса силы Δf с учетом (28) получим

$$\Delta f = \sigma_0 \Delta t = \sigma_0 \frac{\Delta x}{v_f}. \quad (35)$$

Равенство правых частей равенств (34) и (35) позволяет выразить скорость волнового фронта v_f через скорость деформирования $v_в$

$$v_f = \frac{\sigma_0}{\rho v_d} \quad (36)$$

Или с учетом (33)

$$v_f = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (37)$$

Сравнение соотношений (37) и (16) позволяет сделать вывод, что скорость волнового фронта v_f равна скорости распространения продольных упругих волн в стержне v_s.

Учитывая, что движение точек стержня происходят с постоянной скоростью, то перемещения стержня можно записать в виде

$$\begin{cases} u = \frac{\sigma_0}{E}\left(x - v_f t\right), & x < v_f t \\ u = 0, & x \geq v_f t \end{cases}. \quad (38)$$

Несмотря на то, что это решение очень напоминает решение Даламбера (17), построить его этим методом весьма затруднительно. Поскольку необходимо сделать два предположения. Во-первых, существует точка разрыва и во-вторых, эта точка движется со скоростью v_f.

Исследуем возможности построения решения (38) непосредственно из уравнения (15) с использованием линейной функции(27). Из граничного условия

$$\sigma(0,t) = \sigma_0 = E\frac{\partial u}{\partial x} \quad (39)$$

следует, что

$$b = \frac{\sigma_0}{E}. \quad (40)$$

Из предположения о существовании точки разрыва следует, что в точке $x = v_f t$ перемещение стержня равно нулю

$$a + \left(\frac{\sigma_0}{E} v_f + c\right) t = 0. \quad (41)$$

Это условие дает возможность определить оставшиеся две константы

$$a = 0, \quad c = -\frac{\sigma_0}{E} v_f. \quad (42)$$

Отсюда видно, что функция (27) с константами (40) и (42) полностью соответствует решению (38). Стоит отметить, что дифференциальное уравнение (15) не предоставляет возможность явно задать скорость волнового фронта v_f. Это обстоятельство имеет глубинный смысл. Уравнение динамического равновесия (25) записанного в дифференциальном виде теряет явную связь , присущую интегральному представлению законов сохранения. Можно утверждать, что уравнение (25) является необходимым условием равновесия. Для того чтобы это условие стало полным, к нему нужно добавить явное выражение для скорости волнового фронта v_f и определить ее как скорость звука (37).

Выводы

Как вывод можно сказать, что на основе интегрального выполнения законов сохранения, а именно, закона сохранения энергии и закона сохранения количества движения, получены в явном виде все характеристики описывающие динамические процессы, происходящие в стержне постоянного сечения. Показано, что использование уравнений равновесия в дифференциальном виде для решения начально краевых задач требует дополнительного обоснования и дополнения.

Работа выполнена в рамках Госзадания № 123021700050-1.

Список литературы

1. Слепян Л.И. Нестационарные упругие волны. Л.: Судостроение, 1972, 376 с.

2. Морозов Н.Ф., Товстик П.Е. Динамика стержня при продольном ударе // Вестн. С.-Петер. ун-та. Сер. 1. 2009. Вып. 2. С. 105-111.

3. Беляев А.К., Ма Ч.-Ч., Морозов Н.Ф., Товстик П.Е., Товстик Т.П., Шурпатов А.О. Динамика стержня при продольном ударе телом // Вестник СПбГУ.Математика.Механика. Астрономия. 2017.Т. 4 (62).Вып. 3. С. 506-515.

УДК 622.276

СИСТЕМНЫЕ ВОПРОСЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБЪЕМОВ ХРАНЕНИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОХРАНИЛИЩАХ УЗБЕКИСТАНА
SYSTEM ISSUES INCREASED STORAGE IN UNDERGROUND GAS STORAGE FACILITIES IN UZBEKISTAN

Улугбек Султанович Назаров[1,2],
Мухаммад Анварович Абдурахимов[1,2]
***Ulugbek Nazarov[1,2]*, Mukhammad Abdurakhimov[1,2]**

[1]Акционерное Общество «O'ZLITINEFTGAZ», Узбекистан, Ташкент
[1]«UZLITINEFTGAZ» joint-stock company, Uzbekistan, Tashkent
(E-mail: liting@liting.uz, mabdurakhimov@yandex.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering

Аннотация: В работе построена геолого-гидродинамическая модель по ПХГ Газли и Ходжаабад. На основе многовариантных исследований геолого-технологических параметров эксплуатации ПХГ выявлена возможность существенного увеличения объема хранения природного газа с увеличением мощности по отбору активного газа в зимние периоды с 3,9 до 7,8 млрд. м³ в год по республике.

В статье на основе исследований разработаны режимно-технологические карты закачки и отбора природного газа по ПХГ в единой увязке с газотранспортной системой и определены возможности по доставке природного газа в требуемом объеме всем категориям потребителей с созданием стратегического резерва.

Abstract: In the work, a geological and hydrodynamic model was developed for the Gazli and Khodjaabad UGSFs. Based on multivariate studies of the geological and technological parameters of UGS operation, the possibility of a significant increase in the volume of natural gas storage in the Republic of Uzbekistan with an increase in the active gas extraction capacity in winter periods from 3,9 to 7,8 billion m³ per year was revealed.

On the basis of the research, regime-technological maps for the injection and withdrawal of natural gas from UGS facilities were developed, in systemic linkage with the gas transmission system, the possibility of delivering natural gas to all categories of consumers in the required volume by creating a strategic reserve.

Ключевые слова: природный газ, подземное газохранилище, энергоресурс, потребитель, газотранспортная система, газоконденсатные месторождения.

Keywords: natural gas, underground gas storage, energy resource, consumer, gas transmission system, gas condensate fields.

Введение

В мировой практике регулирование поставок природного газа осуществляется за счет создания подземных газохранилищ, эксплуатирующихся в районах расположения крупных потребителей. Однако, создание подземных газохранилищ связано с привлечением сравнительно высоких финансовых ресурсов в организацию хранения газа, а также в приобретение газа для создания буферного объема, обеспечивающего возможность хранения активного объема газа, закачиваемого в летний и извлекаемый в зимние периоды [1].

Также, создание новых газохранилищ требует изыскания геолого-технических возможностей по эффективному хранению газа в отдельных подземных резервуарах, с гарантированной сохранностью создаваемых запасов этого сырья и исключением возможных перетоков в ниже и в вышележащие горизонты.

Объекты и методы исследования

Учитывая особенности расположения газодобывающих предприятий республики и рассредоточенность потребителей в увязке с существующей газотранспортной системой, разработана интегрированная режимно-технологическая схема добычи, транспортировки и поставок природного газа всем категориям потребителей в круглогодичном режиме.

Режимно-технологическая схема составлена с созданием единой структурированной численной модели, описывающей эксплуатацию единой сложной многоиерархической системы «газоконденсатные месторождения → газоперерабатывающие заводы → газотранспортные системы → газораспределительные станции».

Создание имитационной модели позволило определить дисбаланс в добыче и транспортировке природного газа при заданных условиях по 270 точкам передачи газа в сети среднего давления, в пределах всей территории страны [1].

Наличие дисбаланса в добыче и потреблении газа, с учетом существующих мощностей подземного хранения газа, предопределило необходимость изыскания возможностей увеличения объемов хранения газа для его поставки в зимние периоды потребителям республики с 175,0 до 200,0 млн. м³ в сутки (+25,0 млн. м³ в сутки).

Проведенные исследования по изысканию новых объектов для хранения природного газа в близи крупных потребителей (Ташкентская, Самаркандская области) показали сравнительно низкую эффективность возможности организации хранения газа в отдельных водоносных пластах, залегающих на глубинах 500 – 700 м, в связи с наличием в этих горизонтах разрывных нарушений по площади и по разрезу. Наличие тектонических нарушений предопределяет возможности утечек природного газа при его закачке и хранении.

В связи с этим, проведенными расчетами выявлены возможности газотранспортной системы по доставке потребителям природного газа в увеличенных объемах на уровне до 200,0 млн. м³ в сутки от Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона в Самаркандскую и Ташкентскую области, при увеличении объемов хранения газа в существующем подземном газохранилище «Газли» с 16,0 до 36,0 млн. м³ в сутки (+20,0 млн. м³ в сутки) по отбору природного газа в зимние периоды (рис. 1).

Расчеты также показали, что для увеличения поставок газа потребителям Ферганского региона, расположенного на расстоянии 800 км от объектов добычи газа, имеются возможности по увеличению мощности по отборам газа в зимние периоды существующего подземного хранилища газа «Ходжаабад» с 9,0 до 14,0 млн. м³ в сутки (+5,0 млн. м³ в сутки), расположенного в непосредственной близости от потребителей газа.

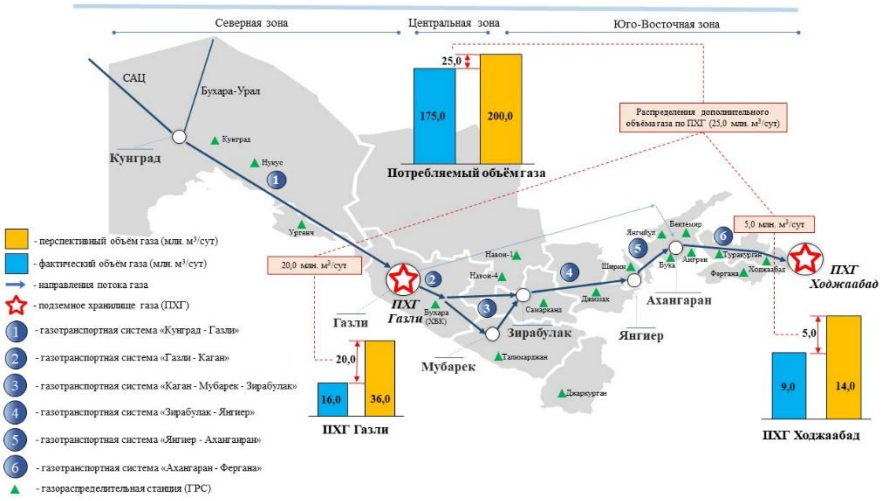


Рис. 1. Схема газотранспортной системы при увеличении поставок газа потребителям с 175,0 до 200,0 млн. м³ в сутки

Геолого-технологические решения по ПХГ «Газли». Разработкой 3-х мерной численной геолого-технологической модели хранения газа в IX горизонте ПХГ «Газли», с использованием симулятора «Petrel» (Schlumberger) обоснована возможность увеличения объемов хранения газа в данном объекте с 3,0 до 6,5 млрд. м³ в год (+3,5 млрд. м³ в год) без увеличения буферного объема газа (рис. 2). Геолого-технологические решения связаны с комплексной модернизацией систем подземного и наземного обустройства объекта строительством новых 142 скважин и дополнительных газосборных (газозакачивающих) коммуникаций, протяженностью трубопроводных систем различного диаметра до 20 км, в комплексе с установкой дополнительных линий по компримированию газа мощностью не менее 80,0 МВт для отбора газа из ПХГ в зимние периоды.

Ранее, в период разработки залежей природного газа месторождения Газли было пробурено 482 скважины. В настоящее время эксплуатируются порядка 212 скважин. Остальной фонд скважин находится в бездействии. В целях максимального снижения инвестиционных затрат в строительство новых скважин разработано технологическое решение по восстановлению существующего фонда скважин путем высокотехнологичного ремонта.

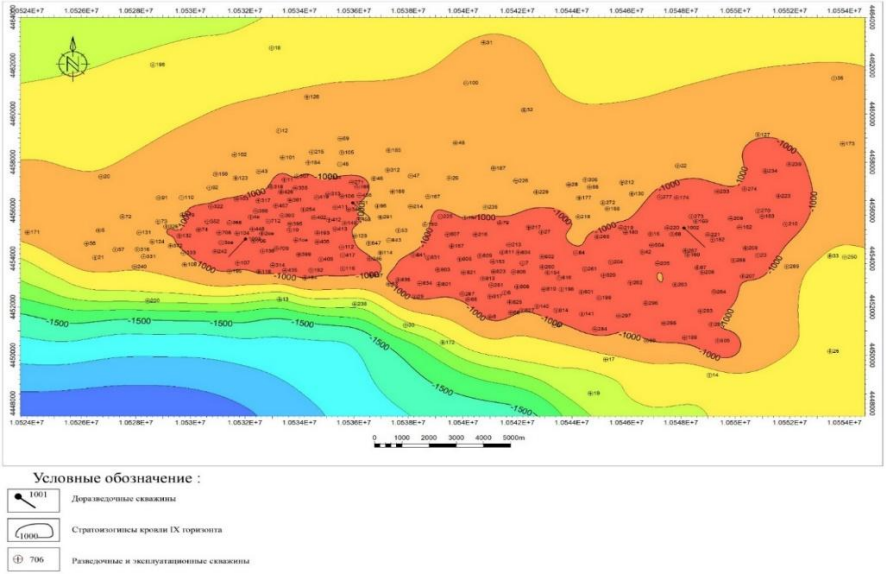


Рис. 2. Структурная карта по кровле IX горизонта с выявленным контуром газоносности ПХГ Газли

Предлагаемое технологическое решение предусматривает выполнение комплекса работ (рис. 3):

1. Проведение перфорации подошвы целевого горизонта;

2. Спуск специального пакера на резиновых манжетах на подошву целевого интервала;

3. Закачки гелеобразующего цементно-полимерного раствора с продавкой в пласт;

4. Спуск нижнего пакера совместно с верхним пакером для отсекания верхних интервалов перфорации скважины;

5. Срезка или отворот труб от нижнего пакера и подъем их с верхним пакером на поверхность, с последующим ожиданием затвердевания цемента;

6. Спуск в скважину перфорированной в нижней части новой колонны труб для последующей прокачки в межтрубное пространство вязко-пластичного полимерного состава - герметика, или цементного раствора (при спуске металлических труб);

7. Прокачка затворяющего раствора до устья скважины;

8. Проведение повторной перфорации газонасыщенных интервалов продуктивного горизонта, с последующей обвязкой скважины, ее освоением и вводом в эксплуатацию.

По разработанному технологическому решению в настоящее время ведется широкомасштабные внедрения на всех эксплуатационных скважинах, находящихся в простое и подлежащих восстановлению.

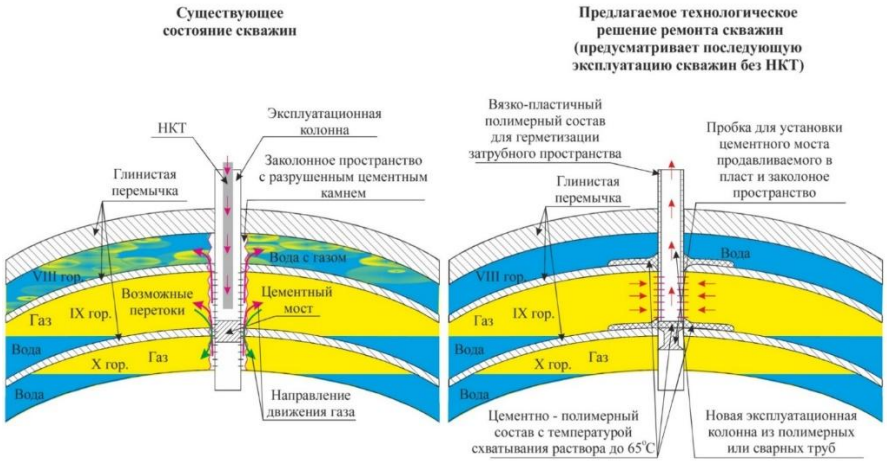


Рис. 3. Высокотехнологичный ремонт скважин IX, X. XI, XIa, XII, XIII горизонтов с восстановлением герметичности цементного кольца и заменой эксплуатационной колонны

Геолого-технологические решения по ПХГ «Ходжаабад». Проведенные исследования показали наличие потенциала увеличения объемов хранения активного газа в Ходжаабадском ПХГ по геолого-промысловым, технологическим и техническим факторам.

Параметры разработки XIX-XXII горизонтов и фактические показатели циклической эксплуатации ПХГ показывают газовый режим эксплуатации залежи при сравнительно низких проявлениях водонапорного режима. Несмотря на то, что в период создания ПХГ, практически не была применена технология разгрузки скважин, находящихся в присводовых и крыльевых зонах площади начальной газоносности, создание буферного газонасыщенного объема было обеспечено в течение первых пяти лет закачки газа при установленном проектом фонде эксплуатационно-нагнетательных скважин.

Анализ технологических возможностей увеличения мощности газохранилища показывает, о вероятности вывода подземного газохранилища на циклическую закачку и отбор газа с 0,9 до 1,82 млрд. м³, в том числе отбор газа из XIX горизонта – 941,4 млн. м³, из XX-XXII горизонтов – 887,3 млн. м³ ежегодно.

В этих целях созданы 3-х мерная численная геолого-технологическая модель хранения газа в ПХГ Ходжаабад и технологическая модель функционирования системы наземного обустройства с применением программного комплекса Aspen HYSYS (США).

Разработанные на основе многовариантных исследований геолого-технологические решения с комплексной модернизацией систем подземного и наземного обустройства объекта которые предусматривают бурение до 53 ед. новых скважин, строительства дополнительных линий низкотемпературной сепарации с установкой детандер-компрессорного агрегата на узле редуцирования и дожимных агрегатов, производительностью по закачке газа от 2,0 до 6,5 млн. м³ в сутки, по отбору газа – от 2,0 до 4,0 млн. м³ в сутки (рис. 4).

Разработана технологическая схема прокладки трубопроводных систем, строительство 2-х новых газосборных и распределительных пунктов на площади месторождения (ГСП-3, ГСП-4) с двумя коллекторами 325 мм, общей протяженностью 4,2 км, с прокладкой шлейфовых труб диаметром 114 мм, общей протяженностью 25,5 км.

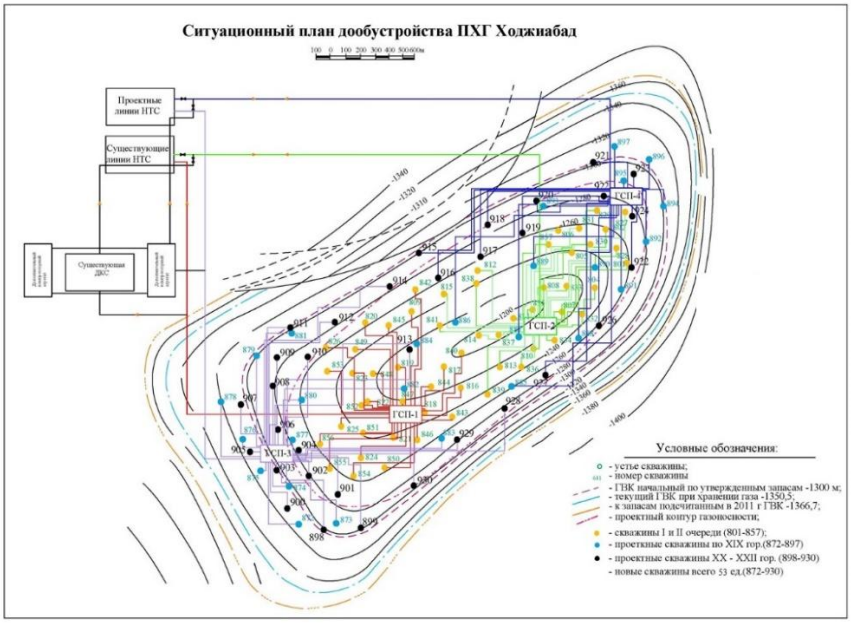


Рис. 4. Ситуационный план дообустройства ПХГ «Ходжаабад»

Разработанный технологический режим подготовки газа при низкотемпературной сепарации с использованием турбодетандерных агрегатов, позволяет обеспечить при низких входных давлениях на НТС, подготовку газа в соответствии с O'zDSt 948 [2].

Вместе с тем, в связи с недостижением требуемой степени подготовки газа по существующим линиям НТС, предложено осуществление модернизации этих установок, с включением в технологические линии 2-х систем турбодетандирования газа.

Реализация вышеуказанных решений позволит увеличить хранения активного объема природного газа с существующих 6,0 до 12,5 млн. м^3 в сутки и систем подготовки отбираемого газа – с 9,0 до 14,0 млн. м^3 в сутки, что обеспечит дополнительные поставки природного газа потребителям в зимние периоды на уровне не менее 400,0 млн. м^3, на ежесезонной основе.

Выводы

Результаты научно-технологических исследований показывают техническую возможность и экономическую эффективность дальнейшего развития инфраструктуры существующих газохранилищ, с последующим расширением активного объема хранения.

В результате достигается стабильность в обеспечении энергоресурсами отраслей экономики и населения на фоне растущего потребления и снижения добывающих мощностей из длительно эксплуатируемых месторождений углеводородного сырья.

Экономическая эффективность обуславливается в создании дополнительных объемов по хранению природного газа на базе действующих объектов, путем интеграции к существующим геологическим и технологическим сооружениям, что в сравнении с созданием новых объектов по хранению газа, не требует значительных капитальных вложений по развертыванию инфраструктурных объектов.

Список литературы:

1. Назаров У.С., Тен И.В. Увеличение объемов хранения газа в ПХГ «Газли» до 10 млрд куб. м в комплексе с доразведкой и доразработкой газовых горизонтов и нефтяных оторочек месторождения, ТЭО проекта «UZLITI ENGINEERING», Ташкент, 2020 г.

2. Назаров У.С. и др. Увеличение мощности Ходжиабадского ПХГ по отборам природного газа в зимние периоды эксплуатации, отчет о НТР ТГТУ им. Беруни, Ташкент, 2018 г.

УДК 519.722:681.5-192

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ СОПОСТАВЛЕНИИ ПЛАНОВЫХ И ФАКТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИДЕНТИЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
POSSIBILITIES OF APPLYING INFORMATION THEORY WHEN COMPARING PLANNED AND ACTUAL DISTRIBUTIONS OF IDENTICAL INDICATORS

Денис Юрьевич Карандеев[1,2], Любовь Петровна Нагрузова[1,2], Ирина Юрьевна Карандеева[1]
Denis Y. Karandeev[1,2], Lyubov P. Nagruzova[1,2], Irina Y. Karandeeva[1]

[1]Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Россия, Абакан
[1]Katanov Khakass State University, Russia, Abakan
(e-mail: karandeev_dj@khsu.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: Рассматриваются возможности применения теории информации при сопоставлении плановых и фактических распределений идентичных показателей. Предложенный в данной работе математический аппарат основан на использовании моделей перекрестной энтропии и дивергенции Кульбака-Лейблера. Математический аппарат позволяет определить связь двух различающихся между собой распределений вероятности, то есть рассчитать расстояние между распределениями, выявить степень отличия фактических показателей от плановых.

Abstract: The possibilities of applying information theory when comparing planned and actual distributions of identical indicators are considered. The mathematical apparatus proposed in this paper is based on the use of models of cross entropy and Kullback-Leibler divergence. The mathematical apparatus makes it possible to determine the relationship between two probability distributions that differ from each other, that is, to calculate the distance between the distributions, to identify the degree of difference between the actual indicators from the planned ones.

Ключевые слова: плановые и фактические показатели; расхождение Кулбека-Лейблера.

Keywords: planned and actual indicators; Kullback-Leibler divergence.

Одним из целевых ориентиров хозяйственной деятельности предприятия являются плановые показатели, состав и обоснованность которых связана с эффективностью управления на разных уровнях. Одна из задач управления отводится технико-экономическому анализу показателей, необходимых для принятия плановых решений и организации производства и сбыта продукции. В частности, сопоставление плановых и фактических показателей необходимо для оценки степени выполнения плана и обоснованности фактических показателей. Сопоставление показателей позволяет оценить общее и специфическое в экономических явлениях, изучить изменения исследуемых объектов, тенденции и закономерности их развития.

Применение различных способов сопоставления направлено на поиск причины отклонения от плана, определение степени воздействия факторов, выявление возможных резервов на предприятии, их изучение и использование в целях улучшения качества работы предприятия. Показатели имеют свою структуру, состоящую из наименования, числовых значений и определенная единица измерения. Анализируя связи между данными факторами, наиболее перспективными можно считать методы, которые укладываются в русло субстанционально-информационной парадигмы общественного развития, обозначенного в работе [1]. В основе парадигмы составляет методология энтропийно-синергийного содержательного анализа, как нового категориального аппарата и аналитического инструментария [2].

Поскольку экономическая система энтропийного типа характеризуется наличием нечетко заданной информацией для целевого управления [3], поэтому востребованы вероятностно-статистические подходы к оценке неопределенности. Здесь применима частотная или статистическая интерпретация вероятности, когда вероятность отождествляется с относительной частотой появления массового случайного события в случае длительных испытаний. Тем не менее, при статистическом описании фактора неопределенности, вместо истинных моментов – математического ожидания и дисперсии – можно получить данные оценки за счет, например, дополнительных опытов, метода оценивания, экспертных оценок и т.п. [4].

Рассматривая вопросы сопоставления плановых и статистических показателей, анализ включает в себя решение задачи о подчинении статистических данных известным законам распределения случайной величины. Выдвигая гипотезу о распределении вероятности, имеет место допущение о статистической неоднородности наблюдаемых событий. Ввиду многообразия случайных факторов, для большинства задач

экономики и финансов статистическая однородность наблюдаемых событий не может быть доказана [5], поэтому невозможно применение классических статистических вероятностных гипотез. Неоднородность событий не гарантирует обоснованного анализа при использовании точечных оценок параметров вероятностного распределения. Несмотря на наличие данной проблемы, решение задачи о сопоставления плановых и статистических показателей возможно на основе теории информации о информационной энтропии [6]. Далее рассмотрим способ решения данной задачи для цели последующего анализа экономических показателей.

Поскольку приходится иметь дело с событиями, природа которых случайна, количественная оценка энтропийных процессов экономических систем, согласно [7], касается применения технологии обработки данных, использующие детерминированные и вероятностно-статистические подходы. Рассматривая планируемые показатели, нельзя однозначно отнести их к группе детерминированных, поскольку в основе их формирования лежат вероятностно-статистические методы. Этот же подход применим и к оценке фактических параметров.

Применение формулы Шеннона позволяет определить энтропию как для плановых, так и для статистического распределения вероятности фактических показателей производственной системы. Распределение плановых показателей по существу является ориентиром хозяйственной деятельности предприятия. Статистическое распределение фактических показателей получают в результате обработки и систематизации первичных данных статистического наблюдения.

Количественные характеристики показателей x и y сравниваются на выделенных интервалах времени Δt_i. Вероятности появления события i на интервале Δt_i можно определить:

– *для плановых показателей:* $p_i(x) = \dfrac{x_i}{\Sigma x}$, *(1)*

– *для фактических показателей:* $q_i(y) = \dfrac{y_i}{\Sigma y}$, *(2)*

где Σ – знак суммы означает суммарную величину показателя.

Плановое распределение показателей можно считать постулируемым априори распределением $p_i(x)$, а фактическое распределение $q_i(y)$, – проверяемым. Сопоставление этих двух распределений между собой возможно через меру неопределенности информации. В качестве меры неопределенности принимают энтропию, которую вычисляют по формуле Шеннона [8], которая в обобщенной форме имеет вид:

$$H = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 p_i \text{ , бит, при условии } \sum_{i=1}^{n} p_i = 1, \qquad (3)$$

где p_i – вероятность появления события i, n – количество рассматриваемы элементов в системе показателей.

При сопоставлении данных распределений нельзя однозначно сказать, что в будущем вероятности возникновения событий q_i совпадут с вероятностями p_i. Распределение $q_i(y)$, полученное по (2) на основе статистических данных, является проверяемым и служит приближением распределения $p_i(x)$. Обращаясь к энтропии как к мере неопределенности информации, можно вычислить приближение, отражающее величину потерь (неучтенное количество) информации при переходе от распределения $p_i(x)$ к статистическому $q_i(y)$. Рассматриваемая в данном случае мера информации получила название перекрестная энтропия. Для распределений $p_i(x)$ и $q_i(y)$, дискретных значениях x и y, перекрестная энтропия определяется следующим образом:

$$H_p(q) = -\sum_{i=1}^{n} p_i(x) \log_2 q_i(y) \text{ , бит.} \qquad (4)$$

Если рассматривать равномерное распределение показателей как появление единичного события из всего множества k событий, вероятность появления одного события p=1/k. Поскольку все в данном случае вероятности равны, то можно говорить о равенстве всех значений ожидаемого распределения $p_i(x)$ или $q_i(y)$. Распределения такого рода характерны для стационарного потока событий. Тогда перекрестная энтропия согласно (4) определиться как

$$H(q) = -\frac{1}{k} \sum_{i=1}^{n} \log_2 q_i(y) \text{ , бит.} \qquad (5)$$

Между энтропией (3) и перекрестной энтропией (4) существует разность, которая получила название «дивергенция Кульбака-Лейблера» – расхождение распределения q относительно p:

$$D_p(q) = H_p(q) - H(p). \qquad (6)$$

При подстановке в (6) выражений (3) и (4), выполнив простые математически преобразования, дивергенция или расхождение Кульбака-Лейблера имеет вид:

$$D_p(q) = \sum_{i=1}^{n} p_i(x) \log_2 \frac{p_i(x)}{q_i(y)} \text{ , бит.} \qquad (7)$$

Дивергенция Кульбака-Лейблера – это расстояние между двумя распределениями. Она показывает, насколько отличаются между собой

распределения случайных величин. Следует иметь в виду то, что функционал (7) не является метрикой в пространстве распределений, поскольку не удовлетворяет аксиоме симметричности:

$$D_p(q) \neq D_q(p). \qquad (8)$$

Обратим внимание на неравенство (8). В процессе анализа, при сопоставлении плановых и фактических показателей, распределение $p_i(x)$ считается априори ожидаемым. Однако планирование показателей нельзя назвать безошибочным, поскольку в данном процессе присутствует неопределенность информации, энтропия которой указывает на наличие событий вероятностного характера. С другой стороны, распределение $q_i(y)$ также можно рассматривать в качестве желательного распределения на последующем периоде получения производственных показателей. В таком случае остается открытым вопрос, что взять за основу: расхождение распределения q относительно p или p относительно q. В последнем случае, дивергенция Кульбака-Лейблера определится по выражению:

$$D_q(p) = \sum_{i=1}^{n} q_i(y) \log_2 \frac{q_i(y)}{p_i(x)}, \text{ бит.} \qquad (9)$$

Подводя итог, отметим следующее. Имеем два распределения вероятностей: первое считаем истинным; второе – подлежащее сопоставлению с истинным. При полном совпадении двух распределений дивергенция равна нулю. Так, сопоставительная оценка плановых и фактических показателей является инструментом анализа качества оценок будущих событий, включенных в финансовую либо интегрированную отчетность.

Если различия велики, повысить уверенность в обеспечении плановых показателей не займет много времени, поскольку влияние факторов на изменение состояния системы явно прослеживается. Но если дивергенция невелика, отличия незначительны, очевидно следующее: план подготовлен качественно. Если потребуется корректировка такого плана, то придется просмотреть очень много данных в поиске малозначимых факторов.

Выводы

В результате можно констатировать, что теория информации проявляется и в сфере анализа производства и реализации продукции предприятий, в сфере подготовки прогнозных данных интегрированной отчетности предприятий. Эта теория предлагает конкретное, формальное описание многих вещей, таких как сопоставление вероятностей желаемого и статистического распределений. Идеи применения моделей

из теории информации понятны, поскольку обладают хорошими свойствами и принципиальным происхождением.

Список литературы

1. Yoshinori Shiozawa, “Evolutionary Economics in the 21st Century: A Manifext”, Evolutionary and Institutional Economics Review, 2004, 1(1), pp. 5–47.

2. W.P. Cockshott and A.F. Cottrell, “Information and Economics: A Critique of Hayek”. Research in Politcal Economy, 1996, vol. 16, pp. 177–302.

3. Thomas M. Cover, and Joy A. Thomas. Elements of Information Theory, second edition. New Jersey: Wiley and Sons, 2006.

4. R.V.L. Hartley, “Transmission of Information”, Bell System Technical Journal, 1928, vol. 7(3), pp. 535–563.

5. A.S. Dulesov, D.J. Karandeev and N.V. Dulesova “Reliability analysis of distribution network of mining enterprises electrical power supply based on measure of information uncertainty”, IOP Conference Series: (EES) 2017, vol. 87, pp. 1-6.

6. I. Gilboa, A. Postlewaite and D. Schmeidler, “Probability and uncertainty in economic modeling”, Journal of economic perspectives, 2008, vol. 22(3), pp. 173-188.

7. C.E. Shannon, “Mathematical Theory of Communication”, Bell System Tech. J., 1948, no. 27, pt. I., 379–423; pt. II., 623–656.

8. L. Hansen, “Uncertainty in economic analysis and the economic analysis of uncertainty”, A journal on the formation of knowledge, University of Chicago, 2017, vol. 1(1).

УДК 553.982.2

КОНЕЧНО-РАЗНОСТНЫЙ МЕТОД ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ИКС «ИНФОРМГЕО»
FINITE DIFFERENCE METHOD FOR NUMERICAL SIMULATION OF THE GEOLOGICAL SURFACE IN ICS “INFORMGEO”

Сергей Викторович Горбачев, Виктор Федорович Кузин
Sergey V. Gorbachev, Victor F. Kuzin

Российская инженерная академия
Russian Academy of Engineering
(e-mail: hanuman1000@mail.ru, vfkuzin@mail.ru)

Аннотация: Рассмотрен численный метод моделирования геологической поверхности, основанный на конечно-разностной схеме решения дифференциальных уравнений, приведены результаты экспериментального исследования на примере Южно-Черемшанского нефтяного месторождения.

Abstract: A computational method for modeling a geological surface based on a finite-difference scheme for solving differential equations is considered, and the results of an experimental study on the example of the Yuzhno-Cheremshan oil field are presented.

Ключевые слова: геологическая поверхность, моделирование, итерационный метод сеток.

Keywords: geological surface, modeling, iterative grid method.

В настоящее время существует большое число алгоритмов и программ картопостроения, использующих разнообразные интерполяционные или аппроксимационные методы приближения. Большинство из них не содержит принципиально новых идей, и задача картопостроения в них рассматривается как формальное приближение исходных данных некоторыми функциями. Разнообразие заключается в выборе класса функций и критериев приближения.

Наиболее оптимальным в смысле минимизации дисперсии считается метод Кригинга [1]. Он использует геостатический способ подсчета автокорреляции между данными точками, учитывает природу переменной: структурный аспект (изменчивость, анизотропию); веса точек зависят не только от расстояния между точками данных и точкой

оценивания, но и от взаимного расположения точек данных между собой посредством вариограммы. При равномерной сети опробования и высокой изменчивости переменной этот метод дает наиболее точное сглаживание. Теоретически, он должен давать довольно точные результаты. Практически, эффективность кригинга зависит от выбора сети опробования – при неравномерной сети опробования достоверность неопробованных участков сомнительна.

По быстродействию можно выделить метод наименьшей кривизны [2, 3]. Это самый быстрый метод в том случае, когда максимальная ошибка задана не слишком маленькой. Вначале проверяются все данные и устанавливается в узле сетки среднее по значениям данных. Это не может дать удовлетворительных результатов для грубых сеток или данных с помехами (ураганными пробами). Далее значения в другом узле сетки подсчитываются так, чтобы придать сети минимальную кривизну по узлам сети. Поскольку метод использует чистку, для него приемлемым является нечетный размер сети. Если данные плохо распределены (неравномерная сеть опробования, большое количество данных, наличие ураганных проб, большой регион), тогда результаты могут быть непредсказуемыми и метод медленно будет конвергировать.

Значения в узлах сетки могут быть вычислены также численным моделированием на основе конечно-разностной схемы решения дифференциальных уравнений, именно этот способ реализован в ИКС "ИнформГео". Он дает возможность управления различными параметрами построенной поверхности, содержит средства оценки ее точности и достоверности, предполагает возможность уточнить полученный результат на основе опыта эксперта с учетом разнообразных факторов, которых не было в исходных данных. Этот метод позволяет использовать разнородные по способам получения данные, например, абсолютные отметки в скважинах и производные по направлениям, геохимические и геофизические параметры и их трансформанты, что подтверждается неоднократным применением этого метода на реальных данных. При этом учитывается, что пликативные складки и нарушения образуются в процессе течения и дифференциации горной породы в условиях больших температур и давления и в длительном геологическом промежутке времени. Тем самым прослеживается частичная аналогия с гидродинамическим плоским движением вязкой жидкости, удовлетворяющим уравнению Лапласа:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0$$

Решение данного дифференциального уравнения представляет собой семейство функций. Для выделения одного определенного решения задаются краевые условия, т.е. соотношения, которым должно удовлетворять искомое решение. Задание такого условия возможно в виде значений искомой гармонической функции в каждой точке границы области, т.е. формулируется первая краевая задача Дирихле:

на границе *C* области *D* задана функция *u(z)*, непрерывная всюду, кроме конечного числа точек $z_1, \ldots, z_N$, где она имеет точки разрыва первого рода. Найти гармоническую и ограниченную в области *D* функцию *v(z)*, принимающую значения *u(z)* на границе *C* области *D*.

Для данной задачи сформулирована и доказана теорема единственности [4]:

в данной области при заданной граничной функции существует единственное решение первой краевой задачи Дирихле.

Границу сеточной области формируем по значениям параметра вдоль профилей. Для решения задачи интерполяции по правильной регулярной решетке в системе «ИнформГео» применяется итерационный метод сеток. Обоснование метода дано Люстерником Л.А. [5]. Метод основан на замене частных производных, входящих в уравнение Лапласа, соответствующими отношениями конечных разностей. Учитывая, что окрестность точки достаточно мала, заменим выражения в частных производных на их линеаризированную часть:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{u(x+h,y)-u(x,y)}{h}, \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{u(x,y+h)-u(x,y)}{h}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{h}\left[\frac{u(x+2h,y)-u(x+h,y)}{h} - \frac{u(x+h,y)-u(x,y)}{h}\right] =$$

$$= \frac{1}{h^2}[u(x+2h,y) - 2u(x+h,y) + u(x,y)$$

Заменяя $x+h$ на x, приведем уравнение Лапласа к приближенному разностному уравнению вида:

$$u(x+h,y)+u(x-h,y)+u(x,y+h)+u(x,y-h)-4u(x,y)=0$$

Отсюда

$$u(x,y) = \frac{u(x+h,y)+u(x-h,y)+u(x,y+h)+u(x,y-h)}{4}$$

Это уравнение связывает между собой значения искомой функции в пяти точках.

Начальное приближение осуществляем, занося минимальное значение параметра в свободные узлы сетки. Итерационные вычисления производятся по следующим соотношениям:

$$v(i,j) = \begin{cases} u(i,j), если (i,j) \in C \\ \dfrac{u(i-1,j) + u(i+1,j) + u(i,j-1) + u(i,j+1)}{4}, если (i,j) \notin C \end{cases}$$

где C – кривая, на которой определены граничные условия. Критерием окончания итерационного процесса является величина корреляции по последующей итерации. Данная величина должна быть меньше 1/1000 сечения изолиний. Сечение изолиний рассчитывается по формуле Пузырева [6].

Выводы

Разработан численный метод картопостроения, основанный на конечно-разностной схеме, имеющий возможность управления различными параметрами построенной поверхности, содержит средства оценки точности и достоверности, предполагает возможность уточнения полученного результата на основе опыта эксперта с учетом разнообразных факторов, которых не было в исходных данных. Этот метод позволяет использовать разнородные по способам получения геофизические, геохимические данные. На основе данного программного обеспечения были обработаны материалы Томского геофизического треста с целью комплексного анализа данных гравимагниторазведки на Северо-Останинской площади (было выделено перспективное Маркинское месторождение), материалы Астраханского газоконденсатного месторождения [7], Южно-Черемшанского нефтяного месторождения (рис. 1).

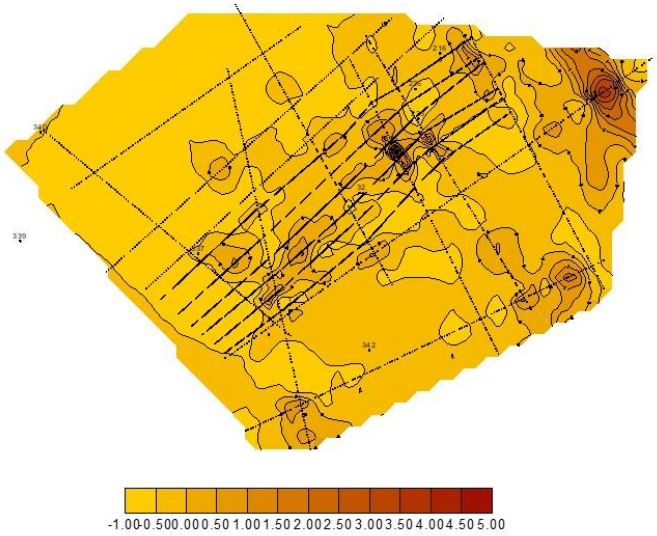


Рис. 1. План изодинам нормированной дисперсии магнитного поля на Южно-Черемшанском месторождении

Список литературы

1. Webster R., Oliver M.A. Kriging: a method of interpolation for geographical information system // Int. J. Geographical Information Systems. 1990. Vol.4, № 3. P. 313-314.

2. Абрамова Т.В. Ваганова Е.В., Горбачев С.В., Сырямкин В.И., Сырямкин. М.В. Нейро-нечеткие методы в интеллектуальных системах обработки и анализа многомерной информации. Томск: Издательство Томского университета, 2014. 443 с.

3. Gorbachev S.V., Emelyanov S.G., Zhdanov D.S., Miroshnichenko S.Yu., Syryamkin V.I., Titov D.V., Shashev D.V. Digital processing of aerospace images, Ed. by V.I. Syryamkin. London, UK: Red Square Scientific, 2018. 244 c.

4. Вапник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. Москва: Наука, 1979. 448 с.

5. Волков Е.А. Численные методы. Москва: Наука, 1987. 248 с.

6. Sergey Gorbachev, Dmytro Shevchuk, Victor Kuzin, Siddhartha Bhattacharyya and Wang Zhijian The method of automated neuro-fuzzy calibration of geometrically distorted images of digital X-ray tomographs // Intelligence Enabled Research. Studies in Computational Intelligence, Editors Siddhartha Bhattacharyya, Gautam Das, Sourav De. Springer, 2022. – vol.1029, PP.167-178.

7. Гафуров О.М., Горбачев С.В. Разработка картографических методов анализа и интерпретации геофизических полей параметров в интерактивной картографической системе «ИНФОРМГЕО». Томск: ЦНТИ, 1999. 125 с.

УДК (66.094.29+54.18)–(691.168+691.3)

ПРОЧНОСТЬ СВЯЗЕЙ AR-ПОЛИМЕРА ПРИ САМОВОССТАНОВЛЕНИИ АСФАЛЬТОБЕТОНА
STRENGTH OF AR-POLYMER BOND DURING SELF-HEALING ASPHALT CONCRETE

Сергей Сергеевич Иноземцев[1], Евгений Валерьевич Королев[2], До Тоан Чонг[1]
Inozemtsev Sergei Sergeevich[1], Korolev Evgeniy Valerievich[2], Do Toan Trong[1]

[1]Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, Москва
[1]National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia, Moscow
(e-mail: inozemtsevss@mail.ru)
[2]Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет, Россия, Санкт-Петербург
[2]Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia, Saint-Petersberg
(e-mail: korolev@nocnt.ru)

Аннотация: Представлены некоторые результаты определения прочности связей модификаторов, которые используются для инкапсулирования при создании самовосстанавливающихся асфальтобетонов.

Abstract: Some results of determining the bond strength of modifiers that are used for encapsulation in the creation of self-healing asphalt concrete are presented.

Ключевые слова: самовосстановление, асфальтобетон, полимер, прочность, связи.

Keywords: self-healing, asphalt concrete, polymer, strength, bonds.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10051, https://rscf.ru/project/22-79-10051/

Для реализации технологии самовосстановления в асфальтобетонах традиционным методом является использование инкапсулированных модификаторов. Распространенным решением является применение в качестве модификатора органических соединений различного назначений, в том числе растительные масла и промышленные омола-

живатели (rejuvenator) [1, 2]. Такие модификаторы в материале при разрушении капсул восполняют содержание легких фракций [3], восстанавливая способность молекул вяжущего в процессе теплового движения самостоятельно спутываться [4].

Новым подходом при реализации технологии самовосстановления в асфальтобетонах является использование активного полимерного модификатора [5], который при высвобождении из капсул трансформируется в результате полимеризации и способствует формированию новых адгезионных связей. Формирование новых полимерных связей частично позволяет восстанавливать способность материала сопротивляться механическим нагрузкам [6].

В работе рассмотрены два вида модификатора для оценки способности асфальтобетона сопротивляться механическим нагрузкам: подсолнечное масло и «AR-полимер», который представляет собой тиолсодержащий уретановый полимер с концевыми меркапто (SH-) группами [7].

Для исследований изготавливались стандартный асфальтобетонные образцы ЩМА-15, отвечающий требованиям ГОСТ 31015-2002 Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия. Из образцов-цилиндров с помощью распиловочной машины изготавливались образцы-полуцилиндры с радиусом и толщиной 3,5 см. Оценка самовосстанавливающей способности осуществлялась по изменению показателя предела прочности при изгибе при температуре -20°С. После изгиба две части образца совмещались поверхностями дефекта друг к другу с помощью жгутов. Для контрольной серии образцов поверхности не обрабатывались, а для другой серии на поверхности разлома наносились модификаторы, избыток которого при совмещении частей образца убирался сухой салфеткой. Затем образцы хранились без нагрузки в течение 7 суток при температуре 20°С, 40°С и 60°С. После завершения периода отдыха повторно определялся предел прочности при изгибе при температуре -20°С. Расчет значения предела прочности при изгибе осуществлялся по формуле:

$$R_b = \frac{P}{2RT}, \qquad (1)$$

где P – максимальная разрушающая нагрузка, Н; R – радиус образца-полуцилиндра, см; T – толщина образца-полуцилиндра, см.

Средний предел прочности при изгибе образцов ЩМА при температуре -20°С составила 190 Па. Результаты определения предела прочности при изгибе после периода отдыха представлены на рис. 1.

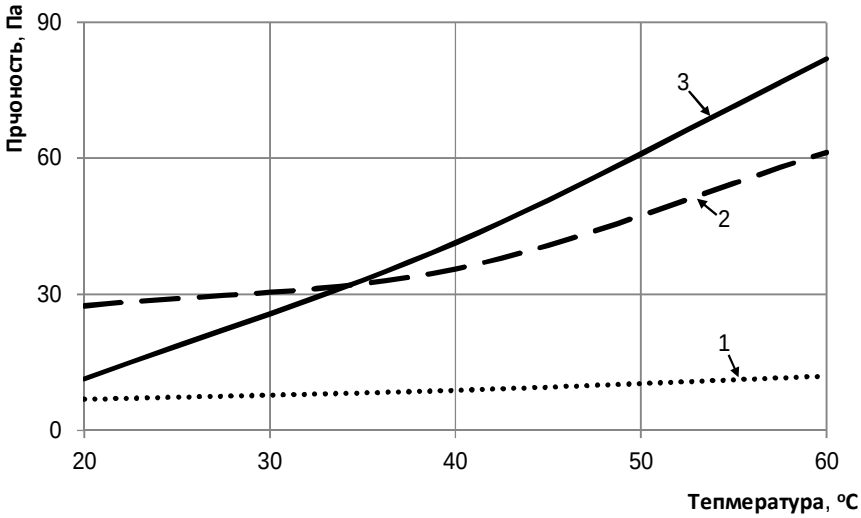


Рис. 1. Зависимость изменения предела прочности при изгибе от температуры среды отдыха: 1 – контрольный образец; 2 – с подсолнечным маслом; 3 – с AR-полимером

Анализ полученных зависимостей свидетельствует о положительном влиянии модификатора располагающегося между плоскостями дефекта. Так без модификатора при температуре 20ºС восстанавливаются связи, обеспечивающие прочность не более 7 Па, в присутствии AR-полимера до 12 Па, а при участии масла до 25 Па. При этом повышение температуры способствует значительному увеличению прочности в присутствии модификаторов. Для образцов с подсолнечным маслом предел прочности при изгибе после отдыха при 60ºС возрастает до 60 Па, а для образцов с AR-полимером до 82 Па.

На следующем этапе исследовалось влияние добавок ускорителей твердения и вулканизаторов на восстановительную способность AR-полимера. Для этого полимер перед обработкой дефектов смешивался с добавками: сера – 2,0%; диоксид марганца – 1,22%; тетраметилтиурамдисульфид (ТМТД) – 0,33%. Результаты определения предела прочности при изгибе после периода отдыха для образцов с AR-полимером и добавками представлены на рис. 2.

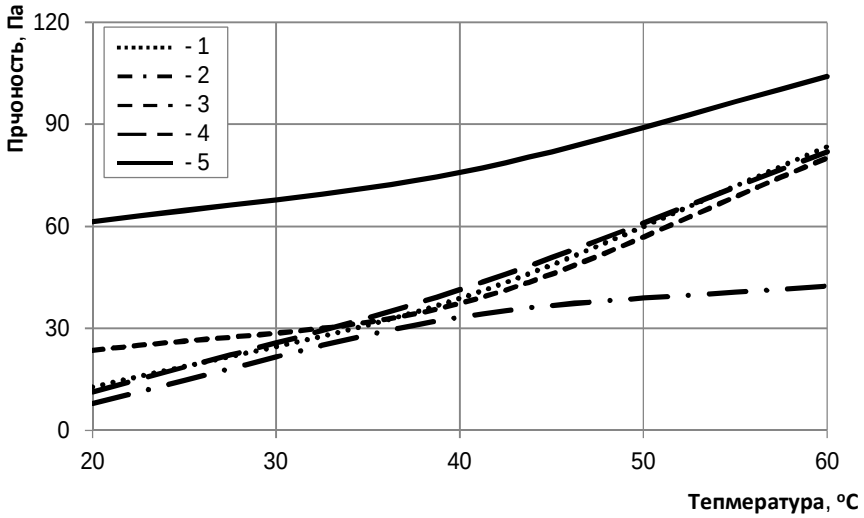


Рис. 2. Зависимость изменения предела прочности при изгибе от температуры среды отдыха для образцов с AR-полимером и добавками: 1 – сера; 2 – диоксид марганца; 3 – ТМТД; 4 – контрольный; 5 – сера, диоксид марганца и ТМТД

Анализ полученных зависимостей свидетельствует, что совместное использование AR-полимера с серой, диоксидом марганца и ТМТД увеличить прочность до 60 Па при температуре восстановления 20°С, что составляет 31% от первоначального предела прочности при изгибе, а при 60°С до 105 Па, что составляет 55% от первоначального предела прочности при изгибе.

Выводы

Более эффективным модификатором является AR-полимер, так как с его помощью возможно восстановление предела прочности при изгибе до 55% от первоначального значения. Использование ускорителей отверждения и вулканизаторов позволяет увеличить прочность. Повышение температуры в период отдыха позволяет увеличить эффективность восстановления.

Список литературы

1. Ghosh Swapan Kumar. Self-healing materials: fundamentals, design Strategies, and applications (1st ed.). Weinheim: Wiley. 2009. VCH. 307 p.

2. Inozemtsev S., Korolev E. Review of road materials self-healing: problems and perspective. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 855. 012010.

3. Шеховцова С.Ю., Королев Е.В. Обзор современного опыта использования реюниваторов для реверсинга асфальтобетонных покрытий. Региональная архитектура и строительство. 2018. № 3 (36). С. 5-16.

4. Phillips M.C. Multi-step models for fatigue and healing, and binder properties involved in healing. In: Eurobitume workshop on performance related properties for bituminous binders, 1998, Luxembourg. Paper no. 115.

5. Xu S., Tabaković A., Liu X., Palin D., Schlangen E. Optimization of the calcium alginate capsules for self-healing asphalt. Materials. 2019. Vol. 12. Issue. 1. 168.

6. Inozemtsev S., Korolev E. Active polymeric reducing agent for self-healing asphalt concrete. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 1030 (2021) 012002.

7. "AR-полимер" – тиолсодержащий уретановый полимер. https://polymix.pro/products/arpolymer.

УДК 622.34:551.462

МОРСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ
OFFSHORE DEPOSITS OF RARE METALS AND MANUFACTURING OF ELECTRIC VEHICLES

Виктор Тихонович Федоров[1], Мухамед Нургалиевич Кокоев[2,3]
Victor T. Fedorov[1], Muhamed N. Kokoev[2,3]

[1]Концерн "Наноиндустрия"
[1]Concern "Nanoindustry"
(e-mail: fedorovsteer@gmail.com)
[2]Кабардино-Балкарский госуниверситет им. Х.М. Бербекова
[2]Kabardino-Balkar State University named after H.M. Berbekov
[3]Кабардино-Балкарское региональное отделение РИА
(e-mail: kbagrostroy@yandex.ru)

Аннотация: В 2021 в мире было продано 6,5 млн. электромобилей, то есть на 83% больше, чем год назад. Объем электромобилей в мировых продажах всех авто составил 9%. Электромобиль явился в этот мир всерьез и надолго. Противники электромобилей приводят в доказательство довод о грядущем дефиците Li, Co, Ni, Cu, Mn, Nd, Pr, Dy и др. для производства многих миллионов электромобилей. После краткого анализа ситуации с редкими металлами и РЗМ было высказано предложение – дефицит должны восполнить морские кобальтоносные железомарганцевые конкреции и корки, полиметаллические сульфиды, содержащие редкие металлы. Для добычи нужны дистанционно управляемые подводные тяжелые бульдозеры, погрузчики, гидромониторы и др. с мощными энергосиловыми установками (ЭСУ), способными автономно работать на большой глубине. В качестве энергоносителя в ЭСУ предполагается использовать алюминиевые гранулы для получения водорода и тепловой энергии гидротермальным окислением алюминия. Предложен новый метод физической активации гранул, повышающий активность алюминия примерно в тысячу раз. Обсуждаются технические детали ЭСУ мощностью 150-350 кВт.

Abstract: In 2021, 6.5 million electric vehicles were sold worldwide, which is 83% more than a year ago. The volume of electric vehicles in world sales of all cars amounted to 9%. The electric car is here to stay. Opponents of electric vehicles cite the potential shortage of Li, Co, Ni, Cu, Mn, Nd, Pr, Dy and other rare metals as an obstacle to produce many millions of electric

vehicles. After analyzing the situation with rare and rare earth metals, a proposal is made. The deficit should be filled with marine cobalt-rich ferromanganese nodules and crusts, polymetallic sulfides containing rare metals. Production requires remotely controlled underwater heavy loaders, bulldozers, hydraulic monitors with powerful propulsion plants capable of autonomous operation at great depths. It is proposed to use aluminum granules as an energy carrier in their propulsion plants to produce hydrogen and thermal energy by hydrothermal oxidation of aluminum. A new method of physical activation of granules is proposed, which increases the activity of aluminum by about a thousand times. The technical details of the 150-350 kW propulsion plants are discussed.

Ключевые слова: электромобиль, кобальтоносные конкреции, РЗМ, морская добыча конкреций, подводный погрузчик, энергосиловая установка, метод активации алюминия.

Key words: electric vehicle, cobalt-rich nodules, rare earth metals, marine mining of nodules, underwater loader, power plant, aluminum activation method.

Введение

В 2021 году во всех странах было произведено около 80 млн. автомобилей всех типов – с двигателем внутреннего сгорания, гибридов и электромобилей. В этом же году в мире было продано 6,5 млн. электромобилей, то есть на 83% больше, чем год назад. Объем электромобилей в мировых продажах всех авто составил 9% [1].

Это свидетельствует о том, что электромобиль явился в этот мир всерьез и надолго. Однако многие сомневаются в этом. В подтверждение упоминают про грядущий дефицит некоторых цветных и редкоземельных металлов для выпуска многих миллионов электромобилей. Другие уповают на водород во всём – в энергетике, на промышленных предприятиях и на транспорте, в том числе автомобильном.

Заявленная Евросоюзом цель декарбонизации экономики и газовой отрасли создает возможности для взаимодействия России и стран ЕС, далеко выходящего за рамки обычных поставок российского газа в Европу. Оно могло бы включать сотрудничество сторон на новом технологическом уровне – в производстве и использовании чистого водорода, получаемого из российского природного газа без выбросов CO_2, в рамках декарбонизации российской газовой отрасли [2]. Имелось ввиду массовое производство в России на экспорт, так называемого, голубого водорода (терминология стран ЕС), чистого от выбросов диоксида углерода. Но после резко изменившийся в 2022 году политической обстановки в мире, осуществление этих планов вряд ли возможно.

Сейчас почти весь водород, используемый в промышленности и в ракетной технике, получаемый методом парового риформинга природного газа, называют "серым" водородом. Потому что остающийся после конверсии природного газа CO_2 выбрасывают в атмосферу, что не избавляет её от тепличного газа (газ, участвующий в парниковом эффекте и, по мнению группы ученых, повышающий температуру на планете).

При производстве "голубого" водорода из природного газа диоксид углерода улавливается и подвергается захоронению. CO_2 улавливают с помощью физической абсорбции, хемосорбции, адсорбции, каталитического гидрирования, мембран и др. Хранение CO_2 осуществляют в газовых резервуарах, соленосных формациях, угольных пластах и в воде океанов. Кроме того, диоксид углерода находит разнообразное применение. Добыча природного газа, состоящего на 96-98% из метана, его транспортировка и хранение приводит к утечке газа, которая в среднем достигает 3,5%. Но метан является тепличным газом, причем в 100 раз сильнее (!), чем CO_2. При этом ученые отмечают, что уловленный CO_2 может храниться десятки лет без утечек. Если это не так, то ситуация с выбросами CO_2 может быть еще хуже [3].

По данным на 2021 год в мире насчитывается лишь два действующих завода по производству голубого водорода, которые используют природный газ для производства в промышленных масштабах: Shell в Канаде (провинция Альберта) и Air Products в США (штат Техас). В конечном итоге на этих заводах по получению водорода удается улавливать не более 75% диоксида углерода. Не говоря уже о том, что паровая конверсия метана под высоким давлением требует немалой энергии, для получения которой требуется сжигать природный газ, что приводит к выбросу CO_2.

Есть схема получения голубого водорода из метана пиролизом без доступа кислорода и, следовательно, без выбросов CO_2. По этой технологии получают, кроме водорода, в качестве побочного продукта твердый углерод в виде сажи или гранул. Если же объемы твердого углерода окажутся избыточными для применения, например в производстве пластмасс или автомобильных шин, то его долгосрочное хранение не является технически сложной задачей, в отличие от захоронения CO_2. Поскольку твердый углерод не оказывает влияния на климат.

Существует производство "зеленого" водорода - самого чистого. Его получают в результате электролиза воды. Электроэнергию для производства зеленого водорода поставляют возобновляемые источники энергии: солнечные- и ветроэлектростанции. В некоторых странах для электролиза воды используют дешевую электроэнергию, получаемую

от горных ГЭС. Вообще, в консалтинговой компании Blumberg NEF считают, что зеленый водород к 2050 году станет дешевле природного газа [4, 5]. И что половина продаж во всех странах к 2030 году будет приходиться всё же на электромобили.

Сомнения возникают по поводу использования водорода в качестве энергоносителя в автомобиле с водородным двигателем внутреннего сгорания или электромобиле с электрохимическим генератором, в котором при каталитическом окислении водорода образуется электричество для питания электромобиля. Не только из-за высокой цены голубого или зеленого водорода, а потому что до сих пор не разработана общепризнанная, безопасная и экономичная технология хранения водорода на автомобиле. Кроме того, развитие сети для заправки жидким водородом или водородом под высоким давлением в сотни раз отстает от появления зарядных станций для электромобилей. К тому же электромобиль можно зарядить от домашней сети ночью, когда тарифы на электроэнергию во многих странах существенно ниже, чем днем.

Таким образом, зеленый водород в будущем займет важную роль в экономике и энергетике, но сейчас водород по техническим и экономическим причинам не конкурент электромобилю. Противники электромобилей, среди которых есть апологеты нефтегазовой отрасли, приводят в доказательство несколько доводов [6, 7]. Во-первых, для массового производства электромобилей не хватит лития, кобальта, марганца, никеля, редкоземельных металлов (РЗМ) и др. Во-вторых, добыча и получение редких металлов для производства электромобилей сопряжена с огромной затратой энергии и нанесением большого ущерба природе. В-третьих, не хватит электроэнергии для обеспечения сотен тысяч, а в будущем и миллионов, зарядных станций для электромобилей.

Запасы редких металлов и РЗМ для производства электромобилей

Литий. До появления на рынке в 1991 году первых литий-ионных аккумуляторов были известны серебряно-цинковые аккумуляторы с весьма похожими характеристиками. По энергоемкости они даже превышали литий-ионные аккумуляторы, но серебряно-цинковые выдерживали только 50-100 циклов перезарядки, что для электромобиля совершенно недостаточно. Аккумуляторы содержали намного больше серебра на каждый кВт·ч емкости, чем лития, поэтому серебряно-цинковые аккумуляторы стоили очень дорого. К тому же серебра не так много добывается – мировой объем добычи серебра примерно 25 тыс. т/год. Лития даже до наступления бума на электромобили добывается в четыре раза больше. Кроме того, серебро широко применяется в промышленности.

Литий-ионный аккумулятор для среднего электромобиля содержит 8 кг лития. В число крупнейших производителей редкого металла входят Австралия, Боливия, Китай, Аргентина и Чили. В России есть запасы руды, содержащей литий, в Мурманской области, Якутии и в других местах страны. Мировое производство лития в 2021 году составило 100 тыс. т, а его ресурсы оцениваются примерно в 40 миллионов т. Литий не только идет на производство источников тока, но широко применяется в промышленности. В настоящее время литиевая промышленность наиболее развита в Австралии. Там ежегодно получают более половины мирового производства лития - 55 тысяч т/год. Для пополнения ресурсов лития, во многих странах ведется разработка технологии по возвращению этого металла в производство из старых аккумуляторов электромобилей.

Кобальт и никель. В среднем содержание кобальта в батареях электромобиля 14 кг, а никеля 35 кг. Около 60% разведанных запасов кобальта находится в Конго (6 млн. т.). Кроме того, известны месторождения в Австралии (1 млн. т), Кубе (500 тыс. т), Филиппинах (290 тыс. т), Канаде (270 тыс. т), Замбии (270 тыс. т), России (250 тыс. т), а также в ряде других стран. Добыча кобальта в мире может увеличиться к 2025 году до 200 тыс. тонн. При такой ежегодной добыче кобальта хватит для производства примерно 14 млн. электромобилей в год. Многие производители электромобилей указывают срок службы литий-ионных аккумуляторов не менее 8 лет.

Кобальт – самый дорогой металл в батареях, цена которого в 2022 году на мировом рынке лежала в интервале 50-80 дол. за 1 кг, следом идет цена на никель - около 28 дол./кг. Цена кобальта и никеля зависит от многих причин. Во-первых, в связи с ростом производства электромобилей усилилась конкурентная борьба на рынке редких металлов и РЗМ [8, 9]. Сегодня 45 тыс. т кобальта во всем мире идет на производство электромобилей. К 2030 году эта цифра превысит 90 тыс. т. Во-вторых, большое количество кобальта, как и раньше, расходуется на производство различных твердых сплавов для военной и гражданской продукции [10]. Без кобальта инструментальная промышленность и машиностроение никак не обойдется. Для России сейчас и в будущем проблемы дефицита кобальта и никеля нет, в первую очередь благодаря работе в Норильске Заполярного филиала ГМК "Норникель". Доля компании в *мировой* добыче – 14% кобальта и 22% никеля [11]. ГМК "Норникель" обеспечен сырьем из российских рудных месторождений на 75 лет.

Редкоземельные металлы (РЗМ). Доля России в мире производства РЗМ составляет всего лишь 1,3%. Общие запасы редкоземельных

металлов в России составляют 12 млн. тонн, то есть 1/10 от общемировых запасов. Для выпуска в стране изделий с РЗМ, эти металлы получают из Китая. Сейчас единственное разрабатываемое в России месторождение лопаритовых руд, оно находится в Мурманской области. В 2018 году добыча оксидов РЗМ составила 2,7 тыс. т.

В двигателях для электромобилей в первую очередь используют неодим, в меньшей степени применяют празеодим и диспрозий. В большинстве электромобилей применяют синхронные двигатели с постоянными магнитами с неодимом (Nd-Fe-B). Магниты с РЗМ имеют большую остаточную магнитную индукцию, достигающую 1,35 Т (тесла). Раньше такую индукцию имел, например, сильный лабораторный электромагнит при затрате большой электрической мощности.

Благодаря постоянным магнитам с неодимом синхронный электродвигатель имеет большую мощность и крутящий момент при малых габаритах и нулевых расходах мощности для создания магнитного поля. На один электромобиль требуется 0,25-0,5 кг неодима, а других РЗМ (Pr, Dy) необходимо 0,06-0,35 кг.

В асинхронных двигателях не требуется дефицитный неодим и другие РЗМ. Однако в них расход меди для обмоток в 3-4 раза больше и достигает 11-24 кг медной проволоки, в зависимости от мощности двигателя. Цена меди на Лондонской бирже колеблется в интервале 8-10 дол./кг. Достоинство асинхронного электродвигателя – в случае "посадки" аккумулятора электромобиль с асинхронным двигателем можно буксировать на скорости до 50 км/ч. Электромобили с синхронным двигателем (на постоянных магнитах) категорически не рекомендуют буксировать даже с малой скоростью, так как аккумуляторы можно вывести из строя.

Синхронный электродвигатель на постоянных магнитах с неодимом сейчас применяют на 90% электромобилях. Не только из-за высокой стоимости меди, а потому что применение РЗМ в магнитах обеспечивает снижение массы, лучшие тяговые характеристики и высокий КПД электродвигателя.

Медь. Выплавка меди в мире в 2019 году была примерно равна 25,5 млн. т. Лидер по объему выплавки меди – Чили (5,6 млн. т); на втором месте США (1,3 млн. т.). Подтверждённые мировые запасы меди составляют 550 млн. т, а глубоководные ресурсы оцениваются в 700 млн. т. В России выплавляют в год 0,85-0,95 млн. т. Причем ГМК "Норильский никель" производит 45% всей российской меди. Значительная часть российской меди идет на экспорт.

Марганец. Применяется в литий-кобальт-марганцевых и литий-маргацевых аккумуляторах (IMR - $Li(NiCoMn)O_2$ и INR - $LiMnO_4$). Они

более долговечны и безопасны, чем кобальтовые. Удельная энергоемкость 140-150 Вт·ч/кг. Ресурс до 1000 циклов «заряд-разряд». Не работают при температуре ниже минус 10°С – большая проблема для зимней России. Имеют низкий саморазряд.

Менее известны литий-марганец-железо-фосфатные источники тока ($LiMnFePO_4$ или сокращено LMFP). Это новая разновидность аккумулятора в литий-ионной технологии. LMFP-аккумуляторы обладают отличными параметрами: энергоемкость 230 Вт·ч/кг, напряжение 4,1 В. Циклов заряд-разряд около 6000. На каждый 1 кВт·ч емкости аккумулятора LMFP требуется *0,38 кг марганца*. Если электромобиль имеет LMFP-батарею на 60 кВт·ч, то для того, чтобы изготовить такую батарею нужно 23 кг марганца.

Величина условных запасов марганцевых руд в России превышает промышленные запасы Австралии, занимающей 3-е место в мире по объемам выпуска марганцевой продукции. Причиной слабого использования марганцевых руд в России - их низкое качество. Марганцевые руды представлены преимущественно труднообогатимыми разностями, непостоянством состава. Некоторые руды содержат вредные примеси - фосфор и железо. Содержание марганца в российских рудах находится в пределах 9-23%, тогда как руды большинства месторождений за рубежом содержат 35% марганца и более. Ведущими производителями марганца являются Китай, ЮАР, Австралия и Габон. Их суммарная доля в мировом производстве достигает 80%.

Графит. Анод у литий-ионных аккумуляторов обычно полностью выполнен из графита. В среднем каждый электромобиль содержит в батарее до 70 кг графита [12]. В мире запасы природного графита равны примерно 250 млн. т. В ближайшие год-два в мире понадобится более 250 тыс. т в год графита для производства анодов для литий-ионных аккумуляторов электромобилей. Далее спрос на графит будет только расти. Дело в том, что естественный и синтетический графит, как и ранее, будет широко использоваться для производства тугоплавких тиглей для плавок металлов, футеровок, различных токосъемных изделий, электродов для производства алюминия, в химическом аппаратостроении и др.

Возможный источник редких металлов морские кобальтоносные и железомарганцевые конкреции и корки

Из проведенного краткого анализа основных металлов и материалов для массового производства электромобилей видно, что может возникнуть временный дефицит по кобальту, марганцу, никелю, неодиму и графиту. Всё зависит от динамики роста производства электромобилей

и развертывания расширенной добычи и переработки сырья для получения перечисленных выше материалов. В отношении лития - мировых запасов достаточно, только нужно усилить исследования по извлечению лития и редких металлов из отработавших свой срок батарей электромобилей. Для этого необходимо унифицировать конструкции батарей, чтобы можно было механизировать и автоматизировать процесс извлечения лития и других редких металлов.

С 2000 года ряд стран проводят разведочные работы в океане и готовятся к началу освоения морских месторождений. Исследования сосредоточены на участках Международного района морского дна и регулируются специально созданным при ООН Международным органом по морскому дну (МОМД). Освоение минеральных ресурсов океана, которые рассматриваются в качестве последнего источника рудного сырья, способного обеспечить развитие мировой экономики до того момента, когда наука предложит технологии, которые позволят вернуть в производство большую часть ранее использованных материалов.

Конвенция ООН по морскому праву 1982 года предоставила прибрежным странам право устанавливать экономическую зону шириной до 200 миль (370 км), в которой признаются права государства на разведку и разработку природных сырьевых ресурсов. За прошедшие годы оказались досягаемыми для эксплуатации глубоководные залежи минералов, находящихся на морском дне на глубине нескольких километров за пределами континентального шельфа.

С целью соблюдения юридических прав участников, включая заключения контрактов для исследований подводных месторождений, геологической разведки и регулировании глубоководной добычи полезных ископаемых при соблюдении экологических норм, Международным органом по морскому дну организовано представительство на Ямайке - государстве в Карибском море [13].

Основные группы полезных ископаемых, разведка и разработка которых регламентируются МОМД, заключены в железомарганцевых конкрециях, кобальт-марганцевых корках и глубоководных полиметаллических сульфидах, промышленное освоение их должно произойти в ближайшие годы [14]. Содержание цветных металлов (Co, Ni, Mn, Cu и др.) в конкрециях и корках часто значительно больше, чем в месторождениях на суше. Например, в состав железомарганцевых конкреций входят Mn (22,3-23,5%), Fe (4,5-5,6%), Co (0,19-0,22%), Ni (1,24-1,54%), Cu (1-1,17%), Zn (0,113-0,117%). Часто присутствуют и другие рассеянные элементы. Такой состав делает выгодной их добычу. Глубоководные полиметаллические сульфиды можно отнести к богатым и очень богатым

колчеданным рудам, не имеющим аналогов на суше [15]. Кроме основных металлов, имеющихся в сульфидных рудах, по концентрации Au и Ag эти месторождения несомненно представляют интерес.

Для добычи морских конкреций нужна техника с мощными ЭСУ, способная работать на большой глубине

Как же добывать ценные полезные ископаемые на большой глубине? Технология для добычи полезных ископаемых на мелководном морском шельфе разработана [16]. Для этого модернизируют технику для подъема и транспортирования пульпы при разработке месторождений полезных ископаемых. Электропитание некоторых устройств возможно только на небольших глубинах (50-100 м). Во всем мире выдано сотни патентов на изобретения по классу E21C50 - технические средства для промышленной добычи железомарганцевых конкреций, находящихся на поверхности морского дна в виде россыпей. Одна из таких россыпей конкреций показана на фото ниже.

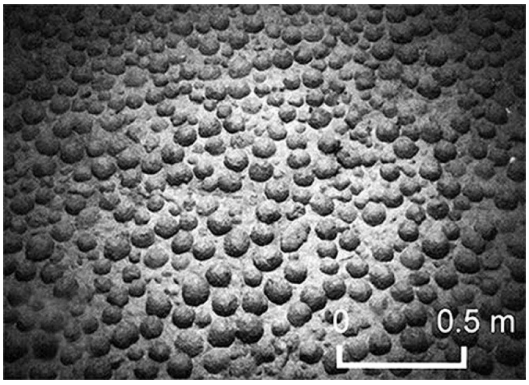


Рис. 1. Железомарганцевые конкреции. Размер конкреций редко превышает 10 см. (Источник: https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/5cca30fab2cf793ec6d94096/1667596663761-4QKLAN6RVTFFOGY3BEUC/polymetallic+nodules.jpg)

Для добычи конкреций с большой глубины (0,5-5 км) нужна разработка дистанционно управляемых подводных тяжелых бульдозеров, ковшовых погрузчиков, гидромониторов и других машин с анаэробными (воздухонезависимыми) энергосиловыми установками (ЭСУ) мощностью 150-350 кВт, способными автономно работать на большой глубине. В качестве энергоносителя в ЭСУ предполагается использовать алюминиевые гранулы для получения водорода и тепловой энергии гидротермальным окислением алюминия. Для работы ЭСУ применяется бортовые запасы алюминия в виде гранул в качестве энергоносителя и

жидкий кислород в качестве окислителя. В результате гидротермального окисления получается водород и тепловая энергия. Выход каждой доли энергии примерно 50% на 50%. При работе ЭСУ не образуются газы, от которых нужно избавляться. Работает установка по замкнутому циклу. Водяные пары после турбогенератора конденсируют и возвращают в цикл, так что ЭСУ может работать на любой глубине.

Но проблема в том, что алюминий всегда покрыт прочной пленкой оксида. Это основное препятствие для повышения скорости гидротермального окисления алюминия. Много лет во многих лабораториях пытались активировать алюминий десятками способов, но достигаемая скорость реакции была недостаточна. Об этих попытках написано в [17]. Гидротермальное окисление алюминия в то время так и не стало основой для разработки анаэробной мобильной ЭСУ.

Наконец во время экспериментов по изучению одного из видов интенсивной пластической деформации металлов было обнаружено явление, которое сопровождалось некоторыми необычными эффектами [18]. Установлено, что при особом виде деформации пластичного металла, он мгновенно разрушается до высокодисперсного состояния. Кроме того, установлен эффект кратковременной гигантской химической активности после такого разрушения металла [19, 20]. В наше время на основе этого явления предложен новый метод активации алюминия, повышающий скорость окисления частиц алюминия примерно от одной до трех тысяч раз. Явление кратковременной гигантской химической активности предложено использовать в воздухонезависимых ЭСУ, использующих гидротермальное окисление алюминия.

Для работы ЭСУ, кроме алюминиевых гранул, нужен жидкий кислород. Для уменьшения испарения его хранят на бульдозерах и другой подводной технике в теплоизолированных мягких герметичных багах (прочные мешки). Обычно теплоизоляционные материалы пористые - они не способны работать под большим внешним давлением (на глубине 5 км давление около 500 бар). Прочная на разрыв мягкая теплоизоляция должна уменьшить потери кислорода на испарение.

Жидкий кислород для подводной техники производят на судне технического обеспечения на воздухоразделительных установках для периодического заполнения багов. У жидкого кислорода температура кипения выше, чем у азота, а плотность выше плотности воды. Поэтому производство и хранение жидкого кислорода не представляет сложной задачи. Расход кислорода для окисления алюминия в 2,7 раза меньше, чем при использовании дизельного топлива для получения единицы энергии.

Вторая проблема при получении водорода и тепловой энергии для ЭСУ заключается в том, что во всех известных старых способах гидротермального окисления алюминия применяли металл в виде порошка. Связано это с тем, что у порошка большая реакционная поверхность, хотя при старых способах активации это не сильно ускоряло реакцию. Тем не менее, транспортировать, хранить и использовать порошки алюминия сложно и небезопасно. Например, алюминиевый порошок марки АСД-1 относят к III классу по взрыво- и пожароопасности. Особенно опасно при хранении порошков алюминия при переходе воздуха в хранилище через точку росы. При появлении влаги в хранилище с алюминиевым порошком накапливается водород.

Новый метод позволяет вместо порошка применять в ЭСУ крупные алюминиевые гранулы. В отличие от порошков, гранулы алюминия совершенно безопасны для транспортировки любым видом транспорта, удобны в использовании и хранения в любых климатических условиях. Гранулы намного дешевле порошков, так как их получают путем простого технологического передела. На судне технического обеспечения запас гранул можно хранить на несколько месяцев работы подводной добычной техники.

Новый метод активации алюминия открывает путь применения гидротермального окисления для разработки анаэробных мощных ЭСУ для оснащения ими подводной тяжелой техники для добычи полезных ископаемых морских месторождений цветных и редких металлов.

Выводы:

1. Для массового производства электромобилей основных металлов и материалов на какое-то время достаточно. Может возникнуть временный дефицит по кобальту, марганцу, никелю, неодиму и графиту. Всё зависит от динамики роста производства электромобилей и развертывания расширенной добычи и переработки сырья для получения перечисленных материалов. В отношении лития – мировых запасов достаточно, только нужно ускорить исследования по извлечению лития и других металлов из отработавших батарей электромобилей.

2. Содержание цветных металлов (Co, Ni, Mn, Cu и др.) в конкрециях и корках значительно больше, чем в месторождениях на суше. Например, в состав железомарганцевых конкреций входят Mn (22,3-23,5%), Fe (4,5-5,6%), Co (0,19-0,22%), Ni (1,24-1,54%), Cu (1-1,17%), Zn (0,113-0,117%). Часто присутствуют и другие рассеянные элементы. Такой состав делает выгодной их добычу. Глубоководные полиметаллические сульфиды можно отнести к богатым и очень богатым колчеданным рудам, не имеющим аналогов на суше. По концентрации Au и Ag эти месторождения несомненно представляют интерес.

3. Для добычи конкреций с большой глубины (1-5 км) нужна разработка дистанционно управляемых подводных тяжелых погрузчиков, бульдозеров, гидромониторов и другой техники с анаэробными (воздухонезависимыми) энергосиловыми установками (ЭСУ) мощностью 150-350 кВт, способными автономно работать на большой глубине. В качестве энергоносителя в ЭСУ предполагается использовать алюминиевые гранулы для получения водорода и тепловой энергии гидротермальным окислением алюминия. В основу ЭСУ положить, ранее неизвестные и многократно подтвержденные экспериментально, эффекты из физики твердого тела и физики поверхности.

Литература

1. Сколько электромобилей в мире: сводная аналитика на конец 2021 года. https://e-cars.tech/analitika/skolko-elektromobiley-v-mire-svodnaya-analitika-na-konets-2021-goda/?ysclid=lcqd7uc83t166720839 (дата обращения 10.01.2023).

2. Конопляник А. Чистый водород из природного газа // Газпром № 9 2020. https://www.gazprom.ru/press/news/reports/2020/pure-hydrogen/?ysclid=lcf1u2jddo68897788 (дата обращения 12.01.2023).

3. Кикот Д. Нелицеприятная правда голубого водорода: анализ выбросов CO_2 и CH_4 «топлива будущего». https://habr.com/ru/company/ua-hosting/blog/573294/ (дата обращения 12.01.2023).

4. Икаев С. BNEF: к 2050 году зеленый водород будет доступнее природного газа. https://hightech.plus/2021/04/11/bnef-k-2050-godu-zelenii-vodorod-budet-dostupnee-prirodnogo-gaza (дата обращения 12.01.2023)

5. Белоголовская Е. Хватит ли человечеству ресурсов, чтобы пересесть на электромобили? https://getrentacar.com/ru/news/post/hvatit-li-chelovechestvu-resursov-chtoby-peresest-na-elektromobili (дата обращения 12.01.2023)

6. Погорельский А. Нет, мир не перейдёт на электромобили: 5 главных препятствий. 2020. https://mag.auto.ru/article/whynotonlyelectro/?ysclid=lcd4qgy6rj997710187 (дата обращения 10.01.2023).

7. Хитрых Д. Электромобили: мировые тренды, проблемы и перспективы // Энергетическая политика. 2021. https://energypolicy.ru/elektromobili-mirovye-trendy-problemy-i-perspektivy/energoperehod/2021/14/27/?ysclid=lcq1tw9rsm636097189 (дата обращения 12.01.2023).

8. Генри Сандерсон. Электромобили спровоцировали борьбу за металлы // Vedomosti.Ru 25 октября 2017.

https://www.vedomosti.ru/business/articles/2017/10/25/739339-elektromobili-borbu-metalli (дата обращения 12.01.2022).

9. Electric Vehicles and the Effect on the Metal Market. September 30, 2019. [Электромобили и их влияние на рынок металлов.] https://www.generalkinematics.com/blog/electric-vehicles-and-the-effect-on-the-metal-market/ (дата обращения 12.01.2022).

10. Nathal M.V., Maier R.D. Ebert L.J. The Influence of Cobalt on the Microstructure of theNickel-Base Superalloy Mar-M247 // Metallurg. Trans. A, 1982, v. 13A, No10, p. 1775. [Влияние кобальта на микроструктуру суперсплава на основе никеля Mar-M247.]

11. Обзор «Норникеля»: крупнейший в мире производитель никеля и палладия // Ведомости. 2020. https://journal.tinkoff.ru/news/review-gmkn/ (дата обращения 20.12. 2021)

12. Литий - не самый важный элемент литий-ионных батарей. https://teknoblog.ru/2021/12/23/115227?ysclid=lcyzeab81p348714188 (дата обращения 12.01.2023).

13. Aline Jaeckel. How a small office in Jamaica might be our best hope for regulating deep sea mining. [Алин Джекель. Как небольшой офис на Ямайке может стать нашей лучшей надеждой на регулирование глубоководной добычи полезных ископаемых] https://theconversation.com/how-a-small-office-in-jamaica-might-be-our-best-hope-for-regulating-deep-sea-mining-48229 (дата обращения 12.01.2023).

14. Муравьев К.Г., Черкашёв Г.А., Лайба А.А. и др. Станет ли Россия морской сырьевой державой? // Rare Earth. 2018. http://rareearth.ru/ru/pub/20160316/02032.html (дата обращения 12.01.2023).

15. Андреев С.И., Казакова В.Е., Бабаева С.Ф. и др. Глубоководные сульфидные руды мирового океана - комплексное минеральное сырье на цветные, благородные, редкие и рассеянные металлы // 70 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане. Сборник научных трудов (под ред. В.Д. Каминского, Г.П. Аветисова, В.Л. Иванова). СПб.: ВНИИОкеангеология, 2018. С. 424-434. http://evgengusev.narod.ru/70let/andreev-2018b.html?ysclid=ld1css8sp4292259491 (дата обращения 12.01.2023).

16. Нурок Г.А., Бруякин Ю.В. и др. Технология добычи полезных ископаемых со дна озер, морей и океанов. Москва.«Недра». 1979. 381 с.

17. Федоров В.Т., Кокоев М.Н. Геологоразведка арктического шельфа и проблема анаэробной силовой установки // Вестник Российской академии естественных наук. 2020/1. С. 21-24.

18. V.T. Fedorov and Kh.B. Khokonov Phenomenon dispersion of solids with the rapid stress relaxation of hydrostatic compression // Sov. Phys. Dokl. 33(6) (1988) p. 463. [В.Т. Федоров и Х.Б. Хоконов. Явление диспергирования твердых тел при быстрой релаксации напряжений гидростатического сжатия // Докл. физ. Докл. 33(6) (1988) с. 463.]

19. Давыдов В.Ю., Федоров В.Т. Использование явления диспергирования компактных металлов в особых условиях для повышения фугасного, зажигательного и электромагнитного действия боеприпасов // V Всероссийская конференция "Современные методы проектирования и отработки ракетно-артиллерийского вооружения". Т.1, РФЯЦ ВНИИЭФ, Саров, 2008, С. 449-456.

20. Федоров В.Т. Использование порошков, полученных методом быстрой релаксации напряжений всестороннего сжатия // Сб. междунар. конференции "Новые методы в физике и механике деформированного твердого тела", Черноголовка, 1990. ч.1, С. 297-300.

УДК 677.076

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ В ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАНИЯХ НА РАЗРАБОТКУ КЕРАМИЧЕСКИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ANALYSIS OF REQUIREMENTS FOR THE DEVELOPMENT OF CERAMIC TEXTILE MATERIALS

Александр Викторович Медведев[1],
Константин Эдуардович Разумеев[2,3]
Alexander Viktorovich Medvedev[1],
Konstantin Eduardovich Razumeev[2,3]

[1]АО «НПО Стеклопластик» филиал НПК «Терм» (Москва)
Россия, Московская обл., г. Солнечногорск, р.п. Андреевка
Russian Federation, Moskovskaya, Obl., g. Solnechnogorsk,
pos. Andreevka
(e-mail: 24091955@mail.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering
[3]Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
[3]The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: ker2210@yandex.ru)

Аннотация: Достижение целей, поставленных в конкурсной документации на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по государственному оборонному заказу, является сложной научно-технической задачей. Проведение научно-исследовательских работ регламентируется конкурсной документацией, в которой одним из основных разделов является техническое задание на разработку новых материалов. Однако, как показала практика, технические задания не всегда содержат необходимый и достаточный объем требований на разработку новых наукоемких материалов и технологий. Что в итоге приводит к отсутствию положительного результата, либо затягиванию научно-исследовательских работ и их дополнительному финансированию.

Abstract: Solving the tasks set when performing research and development work on the state defense order is a complex scientific and technical problem. In this regard, leading domestic research teams in the field of mate-

rials science are involved in their solution of the tasks set on the basis of competitive procedures. Research work is regulated by tender documentation, in which one of the main sections is the terms of reference for the development of new materials. However, as practice has shown, technical specifications do not always contain the necessary and sufficient requirements for the development of new science-intensive materials and technologies. Which ultimately leads to the absence of a positive result, or the delay in research work and their additional funding.

Ключевые слова: керамические текстильные материалы, разработка и исследования, конкурсная документация, техническое задание.

Keywords: ceramic textile materials, development and research, tender documentation, terms of reference.

Цели и задачи по разработке новых керамических текстильных материалов, обеспечивающих увеличение срока активного существования, снижения весовых и габаритных характеристик изделий ракетно-космической техники, определяются соответствующими Государственными программами с применением конкурсных процедур.

Основным исходным техническим документом конкурсной документации на заключение государственного контракта, заключаемого с государственным заказчиком на выполнение НИР является техническое задание (ТЗ). Обязательность приложения ТЗ на НИР устанавливается законами РФ и государственными стандартами.

Целью настоящей работы является анализ требований, предъявляемых к новым керамическим текстильным материалам и технологии их производства в конкурсной документации на проведении научно-исследовательских работ.

В работе проведен анализ требований к новым керамическим текстильным материалам и технологии их производства, установленных в конкурсной документации (КД) на НИР по разработке керамических текстильных материалов для ракетно-космической техники [1–4].

Анализ требований, предъявляемых в конкурсной документации на проведении научно-исследовательских работ, проводился по следующим аспектам:

1. Основные направления исследования.
2. Технический уровень продукции.
3. Технические требования.

Основные направления исследования.

Целью НИР [1-4] является разработка технологии производства новых керамических текстильных материалов схожих по свойствам,

способу производства и назначению. Таким образом, возможно применить метод аналогии, который основывается на сходстве предметов по ряду каких-либо признаков, причем сходство устанавливается в результате сравнения предметов между собой. Таким образом, обобщенно направления исследований указанных НИР являются:

1. Проведение патентных исследований.
2. Отработка технологического процесса получения нитей.
3. Исследование и анализ причин возникновения дефектов.
4. Выявление необходимого для производства оборудования.
5. Изготовление экспериментальных партий керамических нитей.
6. Проведение исследований и испытаний по определению характеристик механических свойств.

Научные исследования зачастую носят непредсказуемый характер и невозможность достижения результата НИР может иметь место в силу различных обстоятельств. Снизить риск невозможности достижения положительного результата НИР, позволяет наличие научно-технический задела (НТЗ). Наличие или отсутствие НТЗ может быть прямо указано в КД. В случае непредставления потенциальным исполнителем данных о наличие НТЗ, он может быть определен по имеющимся публикациям по теме НИР.

Так, например в КД на НИР шифр «Топаз» указано, что работа направлена на совершенствование НТЗ по изготовлению гибких термостойких уплотнительных материалов.

Действительно, текстильные материалы на основе оксида алюминия разрабатываются с 1980-х годов [5]. Таким образом, на момент разработки КД в 2009 – 2012 г.г. НТЗ имелся. В КД на научно-исследовательскую работу шифр «Нефрит» указано, что работа направлена на изготовление гибких термостойких уплотнительных материалов. Ссылка на наличие НТЗ отсутствует, но данная НИР является продолжением НИР «Топаз».

В КД на НИР шифр «Проыв-1» и шифр «Прорыв-2» указано, что НТЗ отсутствует, что маловероятно. Согласно открытым литературным источникам [6] исследования в части углеродных материалов и бескислородных керамических материалов проводятся и результаты известны.

Метод аналогии апробирован и успешно применен для обоснования направлений исследования при разработке технологии производства отечественных крученых нитей из оксида алюминия [7, 8]. Объем и полнота НТЗ соответствует четвертому уровню готовности технологии (УГТ4) [9].

Технические требования к материалам, разрабатываемым при выполнении НИР [1-4] представлены в таблице 1.

Таблица 1. Технические требования к материалам

Шифр работы, керамический материал	Параметры					
	σ, МПа	δ, %	d, мкм	D, мм	r_{min}, мм	T, текс
НИР «Топаз», оксид алюминия	1200					100÷300
НИР «Нефрит», оксид алюминия				≥2	--	
НИР «Прорыв-1», Пековое углеродное керамические	1500		20		20	
SiC,	1500	≥5%	20		30	
SiCN	1000	≥5%	20		30	
НИР «Прорыв-2» нитридные и оксидные						

Анализ технических данных зарубежных керамических комплексных и крученых нитей показал, что основные свойства оксидных нитей определяются следующими параметрами:

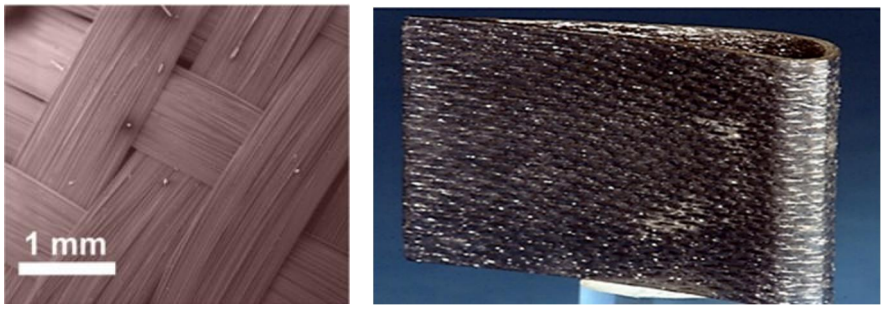
– геометрическими и механическими свойствами элементарных нитей;

– геометрическими и механическими свойствами комплексных нитей;

– линейной плотностью крученых нитей.

Так, например, 3M Company для армирующих наполнителей керамоматричных композиционных материалов (ККМ) производит ровинг 3M™ Nextel™ Roving 610 линейной плотностью 167, 334, 1111 текс и крученые нити 3M™ Nextel™ Plied Yarn 610 линейной плотностью 334 и 668 текс [10].

В отношении керамических нитей из карбида кремния информации значительно меньше. Судя по известным литературным источникам для армирующих наполнителей ККМ в основном применяются комплексные ровинг. На рис. 1 (а) представлена ткань из ровинга SiC, имеющая толщину 0,5 мм и поверхностную плотность 446 г/м2 [11], на рис. 1 (б) представлен ККМ, армированный, тканью из крученых нитей SiC [12].



а) б)

Рис. 1. Ткань из SiC (а) и композитный материал, армированный тканью из крученых нитей SiC (б)

Технический уровень продукции

Техническим уровнем продукции называется относительная характеристика качества продукции, основанная на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, с базовыми значениями соответствующих показателей.

В связи с тем, что производство отечественных керамических текстильных материалов не освоено, за базовые значения можно принимать характеристики свойств соответствующих текстильных материалов зарубежного производства. В таблице 2 представлены основные свойства нитей из оксида алюминия 3M™ Nextel™ 550 производства 3M Company [10] и нитей из карбида кремния Hi-Nikalon производства Nippon Carbon [11].

Сравнивая характеристики свойств керамических материалов, указанных в ТЗ (таблица 1) и характеристики свойств коммерческой продукции зарубежного производства, представленные в таблице 2 можно сделать вывод, что объем требований, предъявляемый к разрабатываемым керамическим текстильным материалам в КД не только недостаточен, но и не способствует успешному выполнению НИР.

Таблица 2. Производитель, марка и свойства керамических элементарных нитей

Марка нити	Диаметр, мкм	Плотность, г/см^3	Прочность, ГПа	Модуль упругости, ГПа
3M™ Nextel™ 550	10 – 12	3,03	2,0	193
Hi-Nikalon	14	2,74	2,8	270

Неполные и в некотором роде «облегченные» требования ТЗ приводят к недостижению целей НИР, затягиванию сроков внедрения продукции в производство. В таблице 3 представлены результаты НИР «Топаз» [13], и базовые значения соответствующих показателей отечественных крученых нитей из оксида алюминия, полученных в диссертационном исследовании [8].

Таблица 3. Цели и достигнутые результаты НИР «Топаз» и базовые значения соответствующих показателей отечественных крученых нитей

Наименование	Линейная плотность, текс	Разрывная нагрузка, Н	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс
Нить крученая [13]	200	9,8	4,9
ОА–13–30×1×4×2–240 [8]	240	24,66	10,27

О результатах выполнения НИР «Провыв-1», «Прорыв-2» будет известно после окончания работ в 2023 и 2024 году соответственно.

Выводы

1. Метод аналогии апробирован и успешно применен для обоснования направлений исследования при разработке технологии производства крученых нитей из оксида алюминия отечественного производства.

2. Неполные и в некотором роде «облегченные» требования ТЗ приводят к недостижению целей НИР, затягиванию сроков внедрения продукции в производство и дополнительным финансовым затратам.

Список литературы

1. Конкурсная документация на проведение открытого конкурса на право заключения государственных контрактов на выполнение научно-исследовательских работ по федеральной целевой программе № 2. «Разработка технологии изготовления непрерывных волокон на основе оксида алюминия (тугоплавкие волокна) и нитей из них для гибких высокотемпературных уплотнительных теплоизоляционных материалов» (шифр «Топаз»). URL: http/www.minprotorg.gov.ru

2. Конкурсная документация на проведение открытого конкурса на право заключения государственных контрактов на выполнение научно-исследовательских работ по федеральной целевой программе № 2. «Разработка технологий изготовления гибкой высокотемпературной уплотнительной теплоизоляции (ровницы и оплеток) из непрерывных

волокон на основе оксида алюминия» (шифр «Нефрит»). URL: http/www.minpromtorg.gov.ru.

3. «Разработка технологий получения высокотемпературных композиционных материалов и нового поколения армирующих наполнителей, каркасов из углеродных волокон на основе пека, керамических SiC, SiCN–волокон для перспективных изделий ракетно-космической техники» (шифр НИР «Прорыв-1»). URL: https://www.tenderguru.ru/tender/42222437

4. «Разработка технологий получения керамоматричных композиционных материалов и нового поколения армирующих наполнителей, каркасов из высокотемпературных оксидных и нитридных волокон для перспективных изделий ракетно-космической техники» (шифр НИР «Прорыв-2»). URL: https://www.tenderguru.ru/ contract_na_zakupku/57007585/

5. Щетанов, Б.В. Механизм формирования структуры и разработка процессов получения поликристаллических волокон оксида алюминия для теплозащитных и теплоизоляционных материалов: дис. … д-ра техн. наук в форме науч. докл.: 05.02.01/Б.В. Щетанов; ФГУП «ВИАМ». – М., 2000. – 70 с.

6. Келина И.Ю. Особенности поведения дискретных и непрерывных волокон SiC и C_f в нитридкремниевой матрице в условиях горячего прессования / И.Ю. Келина, Н.И. Ершова, Л.А. Плясункова, Е.И. Яковенко, А.В. Аракчеев // Огнеупоры и техническая керамика. - 2000. - №1 . - С.37-44.

7. Медведев, А.В. Разработка и исследование технологии получения трощено-крученых нитей из оксида алюминия: дис. … канд. техн. наук: 05.19.02. / А.В Медведев; МГТУ им. А.Н. Косыгина. – М., – 2012. – 243 с.

8. Медведев, А.В. Разработка научных основ технологии производства крученых нитей из оксида алюминия для гибких высокотемпературных уплотнений: дис. … докт. техн. наук: 05.19.02. / А.В. Медведев; СПГУТД – С-Пб., – 2022. – 293 с.

9. ГОСТ Р 57194.1-2016. Трансфер технологий; введ. 01.05.2020. – М.: Стандартинформ, 2020. – 22 с.

10. 3M Science. Applied to Life. 3M United States. URL: http:// www.3m.com/mws/media/ 1327055O/3m-nextel-technicalreference-guide.pdf.

11. Walten Owens, Daniel Merkel, Frederic Sansoz and Douglas Fletcher. Fracture Behavior of Woven Silicon Carbide Fibers Exposed to High-Temperature Nitrogen and Oxygen Plasmas. J. Am. Ceram. Soc., 98 [12] 4003–4009 (2015) DOI: 10.1111/jace.13826 © 2015 The American Ceramic Society.

12. URL: http:// www.sales@samaterials.com

13. URL: http:// www.viam.ru›catalog…nit-troshcheno…s…200-teks/

УДК 519.63: 681.51: 539.5

КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ВОЛОКНИСТОЙ ПЛАСТИНЕ С УПРОЧНЯЮЩИМИ ОТВЕРСТИЯМИ
STRESS CONCENTRATION IN A FIBROUS PLATE WITH REINFORCING HOLES

Асхад Мухамеджанович Полатов[1,2]
Askhad M. Polatov[1,2]

[1]Национальный университет Узбекистана им. М. Улугбека, Узбекистан, Ташкент
[1]National University of Uzbekistan, Uzbekistan, Tashkent
(e-mail: asad3@yandex.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering

Аннотация: Рассмотрены различные способы уменьшения коэффициента концентрации напряжений путем установления упрочняющих отверстий: аналитическое решение, с учетом структурной неоднородности материала и методом конечных элементов. На конкретном примере показано уменьшение напряжений путем добавления к существующему по вертикали второго отверстия. Установлено, что дополнительное отверстие также вызывает повышение напряжений, однако взаимовлияние отверстий уменьшает общее напряженное состояние в окрестности концентраторов.

Abstract: Various ways to reduce the stress concentration factor by establishing reinforcing holes are considered: an analytical solution, taking into account the structural non-homogeneity of the material and the finite element method. Using a specific example, stress reduction by adding a second hole to the existing one along the vertical line is shown. It was established that an additional hole causes an increase in stresses, however the mutual influence of the holes reduces the overall stress state in the vicinity of concentrators.

Ключевые слова: концентратор, напряжение, взаимовлияние, отверстие, МКЭ

Keywords: concentrator, stress, interference, hole, FEM.

Композиционные материалы получили широкое применение в различных отраслях производства. Композиты применяются в строи-

тельстве, машиностроении, ракетной технике и самолетостроении. Новейшие технологии позволяют создавать композитные материалы и конструкции с заранее заданными свойствами. В связи с этим большое значение имеют исследования деформирования элементов конструкций, изготовленных из композиционных материалов. Учитывая, что при создании различных конструкций часто приходится по технологической необходимости делать в их элементах отверстия различного назначения, а при эксплуатации конструкций эти отверстия становятся концентраторами, которые создают вокруг себя области повышенных напряжений.

Известно, что путем конструктивных изменений можно достичь улучшения в распределении напряжений и добиться увеличения прочности конструкции [1]. Отметим, что в работе [2] приводится вышеописанный эффект на примере повышения усталостной прочности для круглых стержней с поперечными отверстиями. Влияние разгрузочных щелей на напряженное состояние породного массива в окрестности выработки описано в [3]. Для исследования эффекта разгружающих отверстий изучается распределение компонент напряженно-деформированного состояния.

Исследуются волокнистые композиционные материалы, состоящие из параллельных цилиндрических волокон, которые квазистатически растягиваются в одном направлении. Для изучения прочности композита рассматривается модель накопления разрывов волокон.

В модели объединены подход сдвигового анализа к распределению напряжений около разрушенного волокна и статистический подход прочности волокон на основе распределения Вейбулла–Гнеденко, при этом введен ряд предположений, упрощающих расчет без потери точности.

В монографии [4] рассматривается задача о влиянии концентраторов напряжений на прочность армированных пластиков. Известно, что у металлов образование пластических зон перераспределяет напряжения и, наличие концентратора может даже повысить несущую способность материала по сравнению с гладким образцом. Указывается, что при растяжении на бесконечности полосы напряжением σ, в окрестности круглого отверстия происходит перераспределение поля напряжений (рис. 1а).

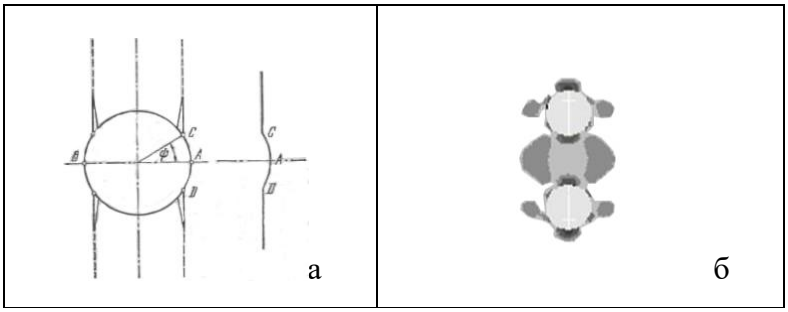


Рис. 1: а – влияние отверстия [4]; б – взаимовлияние круглых отверстий [6].

В работе отмечается, что наибольшее нормальные напряжения возникают в точках A и B, при этом теоретический коэффициент концентрации равен 3. Но в некоторых точках C и D (и симметричных с ними), положение которых определяется полярным углом φ, достигают максимального значения касательные значения $б_{12}$. Величина угла φ близка 20°. Для анизотропного материала получается сходный результат. Коэффициент концентрации оказывается больше трех. Угол φ, определяющий положение точки максимума касательного напряжения, сравнительно мало зависит от степени анизотропии. Но композит плохо сопротивляется сдвигу, поэтому в точках, где достигает максимума касательное напряжение, появляются показанные на рис.1.а трещины. Указывается, что в однонаправленных материалах эти трещины распространяются вдоль штриховых линий на всю длину образца и приводят к общему разрушению. Но возникновение этих небольших трещин разгружает материал в окрестности опасных точек A и B. Схематический можно представить дело так, как если бы растягивалась изображенная на рис.1.а сбоку полоса с неглубокой выточкой. Для коэффициента концентрации напряжений в такой полосе применяется приближенная формула Нейбера [1], по этой формуле для теоретического коэффициента концентрации K получается оценка K=1,4÷1,6. Делается заключение о том, что такие же значения получаются для эффективных коэффициентов концентрации напряжений для образцов из стеклопластов и углепластиков с круглым отверстием.

При изучении поведения элементов конструкций, изготовленных из композитов, наиболее распространенным подходом является сведение рассматриваемых материалов к однородным, в общем случае анизотропным, с некоторыми эффективными характеристиками [5, 6]. Этот подход позволяет достаточно точно описывать статическое поведение

композитных конструкций, все геометрические размеры которых существенно превышают характерный размер структурной неоднородности исследуемого композита.

Рассматривается процесс уменьшения напряжений за счет изменения формы контура при минимально искаженном напряженном состоянии. Исследуется упругое и упругопластическое напряженно-деформированное состояние волокнистой пластины из бороалюминия, которая одноосно растягивается по направлению волокна (аналог задачи Кирша). Пластина, из чисто конструктивных соображений, снабжена круглым отверстием в центре. Размеры прямоугольной пластины: высота – 1, ширина – 0.5, толщина – 0.1 (линейные размеры приведены относительно единичной высоты пластины). Объемное содержание борных волокон 35%, радиус отверстия r=0.05, внешняя нагрузка 950 MPa.

Известно, что распределение напряжений в пластине при наличии изолированного отверстия значительно искажается. В окрестности отверстия наблюдается повышенное напряжение. Предположим, что к существующему отверстию по вертикали добавляется второе. Для исследования влияния двух вертикально расположенных отверстий проведен вычислительный эксперимент. Оказывается, дополнительное отверстие также вызывает повышение напряжений в окрестности. Однако известно, что взаимовлияние отверстий уменьшает общее напряжение (рис. 1.б). Значения интенсивности деформации p_u и напряжений P_u по плоскости изотропии при расстоянии между центрами отверстий h = 0.2 уменьшаются во внешних точках на 6.7%, а во внутренних – на 32.7% (таблица 1).

При h = 0.2 два вертикально расположенных отверстия формируют единый концентратор напряжения. По мере удаления отверстий друг от друга при h = 0.3 и 0.4 их взаимовлияние исчезает. Это явление можно объяснить, используя представление о силовом потоке. Внешние силы создают поток, который распространяется вдоль конструкции. Линия давления (силовой поток) отклоняется вторым отверстием. Влияние отверстия после того, как проходящий силовой поток отклонен, возрасти уже не может [3].

Таблица 1. Значения параметров на контурах отверстия (упругая задача)

Отверстие	Внешние точки		Внутренние точки	
	p_u*10^3	P_u [MPa]	p_u*10^3	P_u [MPa]
изолированное	5.2423	451.99	5.2423	451.99
парное (h=0.2)	4.8918	421.77	3.5285	304.22
парное (h=0.3)	5.2054	448.81	4.6796	403.48
парное (h=0.4)	5.5988	482.73	5.2662	454.05

Далее приводится анализ результатов решения упругопластической задачи. Учет пластических деформаций в окрестности отверстий приводит к уменьшению напряженно-деформированного состояния (таблица 2.).

Таблица 2. Значения параметров (упругопластическая задача)

Отверстие	Внешние точки		Внутренние точки	
	$p_u \cdot 10^3$	P_u [MPa]	$p_u \cdot 10^3$	P_u [MPa]
изолированное	4.4860	322.72	4.4860	322.72
парное (h=0.2)	4.1370	307.68	3.2486	269.38
парное (h=0.3)	4.5117	323.83	4.3282	315.92
парное (h=0.4)	5.0660	347.72	4.9074	340.89

Наличие пластических деформаций в окрестности полостей уменьшает поле напряжений, например, значение интенсивности деформации p_u при расстоянии между центрами отверстий h=0.2см уменьшаются во внешних точках на 7.7%, а во внутренних – на 26.7%

Выводы

Так как концентрации напряжений является одним из основных факторов, определяющих прочность конструкции, то исследование влияния различных типов концентраторов на поведение композитных элементов конструкций и поиск путей снижения концентрации напряжений представляется одной из важных задач современной механики.

Список литературы

1. Neuber H. Theory of notch stresses. Edwards, London. 1946. 201 p.

2. Thum A. und Oschatz H. Steigerung der Dauerfestigkeit bei Rundstiiben mit Querbohrungen” in Forschg. auf Ing.-Wes. 1932, №3(2). P. 87-93

3. Пестренин В.М., Пестренина И.В., Костомина П.П. Влияние разгрузочных щелей на напряженное состояние и ползучесть породного массива в окрестности выработки, Вычислительная механика сплошных сред. Новосибирск, 2011. № 4(2), С. 110-118.

4. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. Наука, Гл. ред. физ.-мат., Москва, 1988. 712 с.

5. Победря Б.Е. Механика композиционных материалов. МГУ, Москва, 1984. 336 с.

6. Polatov A.M. “Numerical simulation of elastic-plastic stress concentration in fibrous composites” in Coupled Systems Mechanics, An International Journal, Techno-Press Ltd., Yuseong-gu Daejeon, Korea. 2013. № 2(3), P. 271-288.

УДК 624.05

ПОДХОДЫ К КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
APPROACHES TO THE CLASSIFICATION OF OBJECTS AND PROCESSES OF CONSTRUCTION PRODUCTION

Надежда Дмитриевна Чередниченко[1,2], Антон Андреевич Семенов[1], Антон Евгеньевич Беликов[1], Евгения Александровна Белоусова[1], Лев Алексеевич Овчинников[1]
Nadezda D. Cherednichenko[1,2], Anton A. Semenov[1], Anton S. Belikov[1], Evgeniya A. Belousova[1], Lev A. Ovchinnikov[1]

[1]Российский университет транспорта (МИИТ), Россия, Москва
[1] Russian University of Transport (MIIT), Russia, Moscow
(e-mail: CherednichenkoND@yandex.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: В работе приведен анализ подходов к решению классификационных задач в области строительного производства. Рассмотрены цели, объекты и классификационные подходы различных систем.

Abstract: The article analyses approach to solving classification problems in the field of construction production. Goals, objects and classification approaches of different systems are considered.

Ключевые слова: строительная классификация, классификационные системы, классификационный подход, объекты классификации.

Keywords: construction classification, classification approach, objects of classification.

Одной из первых задач научного исследования является разработка классификации объектов исследования. Классическое определение понятия классификации: КЛАССИФИКАЦИЯ – системное распределение изучаемых предметов, явлений, процессов по родам, видам, типам, по существенным признакам для удобства их исследования; группировка сходных понятий и расположение их в определенном порядке, отражающем степень этого сходства [8].

Системы классификаций в строительстве

Строительное производство многогранная система взаимодействия множества объектов, каждый из которых обладает своими призна-

ками и является частью определенной группы (например, конструктивные элементы здания, работы, строительные материалы и изделия, трудовые ресурсы и др.). Чаще всего системы классификации объектов в этих группах развиваются обособлено, без сопоставления друг с другом. Такой разрозненный подход не способствует построению единой системы моделирования строительного производства.

В практике существуют отдельные попытки построения единых систем классификаций. Одним из таких примеров является начатые в СССР в 1971-1975 годах работы по формированию системы унифицированной документации и классификаторов технико-экономической информации в рамках внедрения общегосударственной автоматизированной системы сбора и обработки информации для учета, планирования и управления в народном хозяйстве.

Одними из результатов этой работы стали, разработанные под руководством Госстроя и Госплана СССР, унифицированная система Проектной документация по капитальному строительству и **Общесоюзные классификаторы строительной продукции (ОКСП) и работ и услуг в строительстве (ОКРУС).**

ОКВЭД, ОКДП, ОКПД

В 2002 году на смену ОКСП и ОКРУС приходят ОК 029-2001 (КДЕС Ред.1) **Общероссийский классификатор видов экономической деятельности (ОКВЭД)**, ОК 004-93 **Общероссийский классификатор видов экономической деятельности, продукции и услуг (ОКДП)** и ОК 034-2007 (КПЕС 2002) **Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности (ОКПД)** являющиеся частью Единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации (ЕСКК) Российской Федерации. С 2014–2017 года – (ОКВЭД2) ОК 029-2014 (КДЕС Ред.2) и ОКПД2 ОК 034-2014 (КПЕС 2008).

Объектами классификации в ОКВЭД2 являются виды экономической деятельности. Классификатор используется при регистрации хозяйствующих субъектов с целью определения их основного и дополнительных видов экономической деятельности.

Объектами классификации в ОКПД2 является продукция (услуги, работы). Классификатор используется для обеспечения системы государственной контрактации и оптовой торговли на внутреннем рынке; размещения заказов на поставки товаров, выполнение работ (оказание услуг) для государственных и муниципальных нужд; налогообложения; классификации основных фондов.

Кроме этого, классификаторы используются для целей государственной статистики и разработки нормативных правовых актов; для кодирования информации о субъектах национальной экономики и социальной сферы и продукции по видам экономической деятельности в информационных системах и ресурсах и при решении аналитических задач.

Основным классификационным признаком в ОКДП для видов продукции и услуг является функциональный. При необходимости функциональный признак дополняется конструктивно-технологическими признаками, присущими объектам классификации.

Ответственным за разработку этих классификационных систем выступало Минэкономразвития России, перед которым не стояло цели решения задач отдельных отраслей.

КСИ

Примером решения задач конкретной отрасли стали работы по формированию **классификатора строительной информации (КСИ)** для создания и ведения BIM-моделей (КСИ). Классификатор является частью государственной информационной системы обеспечения градостроительной деятельности Российской Федерации (ГИСОГД) и предназначен для интеграции информационных систем и единого подхода к формированию сведений, документов, материалов участников градостроительной деятельности. Опосредовано увязан с общегосударственной системой (через нормативную базу в строительстве). Формирование и ведение КСИ осуществляют Минстрой России и ФАУ «ФЦС».

Перечень групп объектов КСИ достаточно широк. От процессов и ресурсов, до результатов строительства и их характеристик. Это обусловлено задачей обеспечения функционирования системы на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства.

В работе над КСИ применялись методы системного, процессного и функционального подходов. В связи с разнородностью объектов классификации сложно выделить какие-либо общие классификационные подходы. Здесь применен и иерархический подход (дерево процессов) и фасетный (по принадлежности к строительным объектам или группам процессов). Некоторые из подходов описаны в [3] и [6].

ЕНиР и ГЭСН

В отдельную группу стоит выделить классификации, являющиеся частью систем разработанных для решения конкретных задач, связанных со сметным нормированием и формированием калькуляций затрат труда и заработной платы рабочих.

Обновление в 1986 году **Единых норм и расценок на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы (ЕНиР)** проводилось в рамках внедрения новой системы оплаты труда работников. Предназначены для определения норм времени и расценок на отдельные виды работ при разработке укрупненных и комплексных норм, составления калькуляций затрат труда и заработной платы. Содержат систему классификации работ, используют разработанные ранее системы классификаций работ и профессий (ЕТКС) и, опосредовано, строительных ресурсов.

ЕНиР разработаны Центральным бюро нормативов по труду в строительстве (ЦБНТС) при ВНИПИ труда в строительстве Госстроя СССР (при участии других организаций).

Государственные элементные сметные нормы (ГЭСН) были разработаны в 1998-2001 годах в рамках внедрения новой сметно-нормативной базы. Являются частью современной системы ценообразования и сметного нормирования в строительстве. Применяются для определения потребности в строительных ресурсах и составления сметных расчетов. Основываются на классификации видов работ и операций, машин и механизмов, материалов. Не содержат классификации профессий, производственных приспособлений и оборудования.

Разработаны при координации и контроле Управления совершенствования ценообразования и сметного нормирования в строительстве Госстроя России.

Зарубежные классификационные системы

Глубокий анализ истории возникновения и развития классификаторов строительной информации рассмотрен в статье [7]. Авторами рассмотрены системы классификаций разработанные CIB (Международный совет по строительным исследованиям и документации) - классификационная система SfB (полное название Samarbetskommitten for Byggnadsfragor).

Классификационная система SfB была разработана с целью составления и использования сопроводительной документации к проекту [4]. Этим и обусловлен подход к ее формированию. Она легла в основу локальных версий классификаций Великобритании, Германии, Франции, Бельгии и Нидерландов.

Авторами статей [1] и [2] подробно рассмотрены Методология международного стандарта ISO-12006-2:2015 и такие международные системы классификации как OmniClass (США), Uniclass 2015 (Великобритания), CCS (Дания) и CoClass (Швеция).

Большинство из перечисленных ранее систем и используемых ими систем классификаций в основном сориентированы на реализацию учетных функций и организацию систем документооборота.

Системы моделирования на основе дискретных событий (4D)

Отдельным пользователями систем классификаций выступают системы моделирования на основе дискретных событий (4D). Среди таких систем стоит отметить как широко используемые в РФ MS Project, Spider Project, Navisworks, SYNCHRO, TechnologiCS, AnyLogic и так и еще малоизвестные на нашем рынке SDESA и PROMODEL. При этом такие системы как Navisworks и SYNCHRO изначально были сориентированы на взаимодействие с BIM моделью, поэтому применяемые в них системы классификаций ближе к проектной модели, но в меньшей степени отражают производственную модель.

TechnologiCS, AnyLogic чаще используется при проектировании промышленного производства и в нашей стране практически не применяется в гражданском строительстве. MS Project и Spider Project наоборот широко распространены в организации и управление строительным производством, но практически не интегрированы (не имеют общепринятых сквозных классификационных подходов) в единую систему проектирования.

Стоит отметить отдельные классификационные системы для решения задач какого-либо крупного проекта. Так при возведении главного стадиона Олимпийских игр 2008 года в Пекине «Птичьего гнезда» применялись приложения 4D-GCPSU, системы управления строительством, разработанной Университетом Цинхуа, и SDESA, система моделирования операций, разработанная Гонконгским политехническим университетом [2].

В качестве объектов классификации были выбраны этапы строительства, объекты потока действия и ресурсы. Применены комбинированные подходы к классификации, что характерно для подобных систем.

Еще одним примером подобной системы является PROMODEL. Она представляет собой систему объектно-ориентированного моделирования производственных процессов. Возможность ее применения для решения задач строительства рассматривается авторами [1].

В основе модели PROMODEL лежат объекты (местоположения, объекты и ресурсы, а также пути) и взаимодействия (прибытие и обработка).

Для более глубокого изучения классификационных подходов в строительстве в КНР будут интересны документы из группы GB 50500-2013.

Отдельно существуют примеры цифровизации процессов отдельных организаций (внутренних разработок или выборочного/комплексного внедрения уже готовых систем моделирования). Все перечисленные системы моделирования в большей степени являются инструментами. Их наполнение носит локальный, чаще всего закрытый, характер и не распространено на отрасль в целом. В связи с этим изучение используемых ими систем классификации и правил их формирования достаточно затруднительно. Попыткой свести применяемые в РФ системы к одной системе классификации является внедрение рассматриваемого ранее КСИ.

Научные подходы к классификациям

В рамках научных исследований вопросами разработки классификаций занимались многие ученые. Рассмотрим несколько примеров.

В своей работе д.т.н., проф. П.П. Олейник рассматривает процесс создания объектов как сложную динамическую систему со множеством элементов, взаимодействующих через внутренние и внешние рекурсивные, синергические и циклические связи. Интересен изложенный в работе подход к классификации факторов, влияющих на продолжительность создания объектов по пяти классификационным признакам [5].

В работе [4] к.т.н., доц. М.М. Калюжнюка представлена структурная классификация элементов строительных процессов. В качестве основного классификационного признака выбран «уровень организации труда и производства» от простого «рабочее движение» до сложного «межобъектный строительный процесс комплексный». Для каждого структурного элемента обозначены его основные характеристики по группам параметров.

Выводы

Анализ показал, что в настоящее время существует множество подходов к классификации объектов и процессов строительного производства. Одни строительные классификационные системы являются частью более глобальных общегосударственных систем и не всегда выделяются в отдельные методологические разработки. Другие, наоборот, реализованы как отдельные проекты и предназначены для решения конкретных производственных задач. Большинство из рассмотренных выше подходов изначально разрабатывались для решения конкретной прикладной задачи и не были направлены на формирование основы для исследования, хотя и были научно обоснованы.

Классификации, разрабатываемые в рамках научных исследований, направленны на решение задач конкретного исследования и не являются достаточно гибкими для дальнейшего применения. Однако,

опыт и выбранные исследователями подходы будут, несомненно, полезны при разработке дальнейших классификационных систем.

Основной проблемой устойчивого развития классификаций является недостаточная системность и долгосрочность решаемых с их помощью задач, аффилированность конкретных подходов с конкретными людьми и командами с уходом которых сворачивается и работа над проектом. Единая классификационная система последовательно сопровождаемая и развивающаяся, синхронизированная со всеми сторонами производственной деятельности позволит подходить к решению задач «на одном языке», повысит управляемость и устойчивость системы строительного производства в целом.

Список литературы

1. Ming L., Lap-Chi W. Comparing promodel and sdesa in modeling construciton operations // Assembly. 2005. № Hubert 2003. С. 1265–1274.

2. Zhang J. [и др.]. Construction Management Utilizing 4D CAD and Operations Simulation Methodologies // Tsinghua Science and Technology. 2008. № SUPPL. 1 (13). С. 241–247.

3. Волкодав В.А., Волкодав И.А. Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий // Вестник Мгсу. 2020. № 6. С. 867–906.

4. Калюжнюк М.М., Сандан Р.Н. Структурная классификация элементов строительных процессов // Вестник гражданских инженеров. 2008. № 1(14). С. 46–52.

5. Олейник П.П. Научные основы организации подготовки ускоренного создания промышленных комплексов / П.П. Олейник, 1989. 50 с.

6. Тимченко В.С. [и др.]. Разработка элементов классификатора строительной информации для создания и ведения информационных моделей объектов капитального строительства в части процессов проектирования, управления строительными процессами и строительной информации // Вестник МГСУ. 2021. № 7. С. 926–954.

7. Титова И.Д., Волкодав В.А. История возникновения и развития классификаторов строительной информации // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2020. (1). С. 20–30.

8. Шрейбер А.К. Строительное производство: Энциклопедия / А.К. Шрейбер, Москва: Стройиздат, 1995. 464 с.

УДК 519.816

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ
SIMULATION OF BUILDING DISTRICT HEATING SYSTEMS

Евгений Геннадьевич Гашо[1,3], Алексей Михайлович Фокин[2]
Evgeniy G. Gasho[1], Alexey M. Fokin[2]

[1]Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва
[1]National Research University «MPEI», Russia, Moscow
(e-mail: 290461@bk.ru)
[2]Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, Россия, Смоленск
[2]Smolensk branch of National Research University «MPEI», Russia, Smolensk
(e-mail: fokssm@yandex.ru)
[3]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[3]Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow

Аннотация: Представлена динамическая модель системы отопления здания. В модели учтено влияние статических и динамических параметров отдельных элементов как системы отопления, так и автоматических регуляторов.

Abstract: A dynamic model of the building heating system is presented. The model takes into account the influence of static and dynamic parameters of individual elements of both the heating system and automatic controllers.

Ключевые слова: теплоснабжение, системы автоматического регулирования, моделирование систем теплоснабжения.

Keywords: heat supply, automatic control system, modeling of heat supply systems.

В настоящее время накоплен большой положительный опыт построения систем автоматического регулирования (САР) в системах централизованного теплоснабжения (СЦТ). Главными направлениями исследований являются как поиски схемных решений, позволяющих повысить эффективность и экономичность СЦТ, так и отыскание оптимальных параметров всех звеньев из условий высокой точности и быстродействия [1, 2].

С целью отработки основных режимов работы регулятора в составе СЦТ используют модели системы отопления. При этом ставится задача анализа влияния статических и динамических параметров отдельных звеньев на динамику всей системы и точности поддержания температуры.

Принципы построения моделей систем теплоснабжения.

Тепловой режим отапливаемых помещений определяется как результат совокупного влияния непрерывно изменяющихся внешних и внутренних возмущающих воздействий, прежде всего, балансом потока тепловых потерь, зависящих от внешних метеорологических условий и тепловым потоком, создаваемым действием системы теплоснабжения [3].

В переходных режимах баланс указанных тепловых потерь не выполняется и не скомпенсированный тепловой поток идёт либо на уменьшение температуры ($\Delta Q\rangle 0$), или на увеличение её ($\Delta Q\langle 0$).

В свою очередь, тепловые потери здания условно можно представить как сумму двух составляющих: $Q_{медл}$ и $Q_{быстр}$. $Q_{медл}$ – тепловой поток через теплоёмкие ограждения (стены, перекрытия), $Q_{быстр}$ – тепловой поток через окна, двери.

Очевидно, что соотношение $Q_{медл}$ и $Q_{быстр}$ меняется в зависимости от метеорологических условий [4,5]. Таким образом, помещение, в котором регулируется температура, по отношению к быстрой и медленной составляющим потока тепловых потерь представлено параллельным соединением двух инерционных звеньев с постоянными $T_{быстр}$ и $T_{медл}$.

Внутренний объём здания выступает как интегрирующее звено по отношению к не скомпенсированному потоку ΔQ, при этом выходной величиной является температура внутри здания.

Приближённый вид передаточной функции теплоёмких наружных стен помещений определяется как произведение передаточных функций двух звеньев: звена с чистым запаздыванием и апериодического одноемкостного звена:

$$K_{\Theta_T(P)} = \frac{\rho}{1+TP} * e^{-P\tau_i},$$

Где $\rho = \frac{K_T}{\alpha_в}$ – коэффициент передачи,

T – постоянная времени инерционного звена,

τ_i – запаздывание,

P – оператор.

Потери тепла через нетеплоёмкие ограждения (окна) складываются из потерь тепла путём инфильтрации и прямого теплообмена. Сдвиг фазы для первого вида потерь зависит от кратности воздухообмена, но по сравнению с теплоёмкими наружными ограждениями запаздыванием при прохождении температурной волны через окна практически можно пренебречь, во втором случае сдвиг фазы равен нулю [7]. И тогда передаточная функция окна как безынерционного звена определится из выражения:

$$K_{\Theta_{0(P)}} = \frac{K_{усл}}{\alpha_в},$$

где $K_{усл}=K_0\cdot(1+C)$ – условный коэффициент теплопередачи через окна, учитывающий дополнительные потери тепла с инфильтрацией,

K_0 – коэффициент теплопередачи окна, Вт/м^2°С,

$C=W_{01}/W_{02}$ – коэффициент, учитывающий соотношение прямых потерь тепла через окно и потерь тепла с инфильтрацией,

W_{01} – доля потерь через окно, обусловленных прямыми потерями тепла,

W_{02} – доля потерь через окно, обусловленных инфильтрацией наружного воздуха,

$\alpha_в$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения, Вт/м^2°С.

Теплообменные аппараты (отопительные батареи) и трубопроводы моделируются инерционными звеньями и звеньями запаздывания, как это принято при моделировании теплоэнергетических объектов.

Датчики температуры представлены инерционными звеньями. Только датчик внутренней температуры представлен инерционным звеном с запаздыванием – это обусловлено тем, что диапазон изменения внутренней температуры (18÷22°С) много меньше диапазона изменения температуры наружного воздуха (-35÷+8°С).

Модель системы теплоснабжения, построенная на основе вышеприведенных соображений, представлена на рис.1.

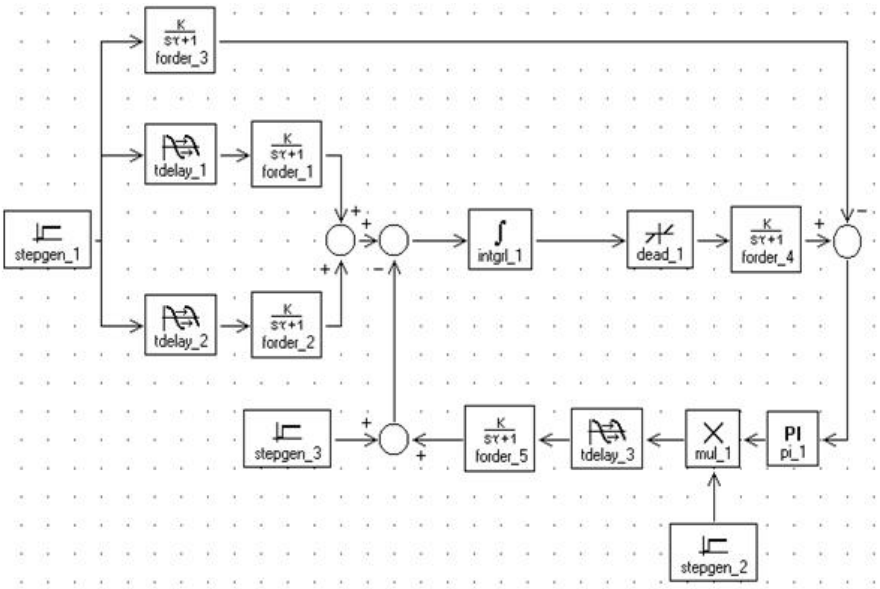


Рис. 1. Модель системы теплоснабжения.

Уровни сигналов и параметры звеньев задаются относительно двух базовых величин – амплитуды тепловых потерь stepgen1 и постоянной времени медленной составляющей тепловых потерь.

Тепловые потери представлены звеном stepgen 1, амплитуда тепловых потерь (условно равная единице) рассматривалась как мгновенное похолодание от температуры температура начала отопительного сезона [6] до температуры наружного воздуха для наиболее холодной пятидневки.

Медленные тепловые потери смоделированы инерционным звеном forder 1 с постоянной времени, равной единице и звеном запаздывания tdelay 1 с таким же запаздыванием.

Коэффициенты усиления всех датчиков приняты равными единице (forder 3 – датчик наружной температуры, dead 1 (запаздывание) и forder 4 (инерционное звено) – датчик внутренней температуры).

Запаздывание в трубопроводах (tdelay 3) равно 0,05, постоянная времени отопительных приборов (forder 5) – 0,05.

Мощность системы теплоснабжения (stepgen 2) может принимать значения менее и более 1, что означает соответственно дефицит тепла в системе и избыток.

Доля внутренних источников – 0,1÷0,5, тем самым смоделировано отсутствие или присутствие людей в отапливаемых помещениях.

Выводы

Разработанная модель позволяет учесть влияние на тепловой режим помещений разнородных ограждающих конструкций – массивных инерционных (стен, полов, потолков) и малоинерционных (окон). С использованием данной модели возможен анализ работы автоматических регуляторов в составе автоматизированных ИТП зданий без проведения экспериментов на реальных объектах.

Список литературы

1. Гашо Е.Г., Фокин А.М. Анализ зависимости тепловой энергии, затраченной на отопление и охлаждение зданий, от различных факторов // СОК. 2022. № 02(242). С. 64-67.

2. Пасынков С.Г., Тенякова Р.В. Анализ работы программного комплекса в части учета тепловой энергии в ЖКХ // Энергосбережение. 2008. № 2. С. 62-64.

3. Ощепков А.Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB. С.-П.: Лань, 2021. 208 с.

4. Хафизов Р.Н. Моделирование функционирования системы централизованного теплоснабжения // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: технические науки. 2007. № 2 (20). С. 174-180.

5. Батухтин А.Г., Калугин А.В. Моделирование современных систем централизованного теплоснабжения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 8 (55). С. 84-91.

6. СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. N 968/пр и введен в действие с 17 июня 2017 г.

7. Самарин О.Д. Зависимость теплотехнической однородности наружных стен жилых зданий от их геометрических характеристик и климатических параметров // СОК. 2022. № 03(219) С. 52-54.

УДК 535.015

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕРНОГО КРЕМНИЯ
OPTICAL CHARACTERISTICS OF BLACK SILICON

Гагик Ерджаникович Айвазян[1,2], Размик Наапетович Барсегян[1,2]
Gagik Ye. Ayvazyan[1,2], Razmik N. Barseghyan[1,2]

[1]Национальный политехнический университет Армении,
Армения, Ереван
[1]National Polytechnic University of Armenia, Armenia, Yerevan
(e-mail: agagarm@gmail.com)
[2]Инженерная академия Армении
[2]Engineering Academy of Armenia

Аннотация: Для моделирования оптических характеристик, слой черного кремния представили в виде периодической системы, элементарной ячейкой которой является прямой конус. Методом конечных разностей во временной области определили спектры отражения этих систем с различными геометрическими параметрамаи наноконусов в широком диапазоне длин волн.

Abstract: To simulate the optical characteristics, the black silicon layer was presented in the form of a periodic system, the elementary cell of which is a straight cone. The finite-difference time-domain method was used to determine the reflection spectra of these systems with different geometric parameters of nanocones in a wide range of wavelengths.

Ключевые слова: черный кремний, солнечный элемент, отражение, моделирование.

Keywords: black silicon, solar cell, reflection, modeling.

Поверхность черного кремния (b-Si) имеет наноразмерные неровности в виде случайно расположенных неровностей, что приводит к низкому отражению и эффективному поглощению световых лучей. Этим и обусловлено широкое использование b-Si в качестве антиотражающих фронтальных поверхностей для однопереходных [1, 2] и тандемных [3, 4] солнечных элементов. При этом низкий коэффициент отражения достигается как при нормальном падении световых лучей, так и при наклонном освещении солнечных элементов.

Настоящая работа посвящена теоретическому исследованию оптических характеристик b-Si в широком диапазоне длин волн излучения в зависимости от их структурных свойств.

Для моделирования оптических (отражающих) характеристик b-Si был выбран метод конечных разностей во временной области (finite-difference time-domain, FDTD), в основе которого лежит простая схема дискретизации уравнений Максвелла, записанных в дифференциальной форме [5]. Для численных расчетов использовали модуль Rough Surface коммерческого пакета программ FDTD Solutions (Lumerical Solutions Inc, Канада), позволяющий в зависимости от длины волны и угла падения световых лучей, формы и геометрических размеров элементарной ячейки определить и в различных форматах представить оптические характеристики периодических систем. Определение формы и геометрических параметров периодической системы осуществляли на основе СЭМ микрофотографий поверхности и поперечного сечения слоев b-Si (рис. 1) [6].

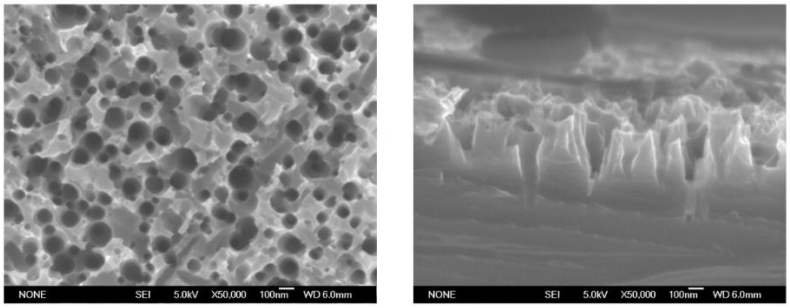


Рис. 1. СЭМ микрофотографии поверхности и поперечного сечения слоев b-Si.

Как видно из рис. 1, b-Si состоит из четко выраженных иглообразных выступов, имеющих достаточно четкую границу раздела с кремниевой подложкой. Неровности расположены неупорядоченно с небольшими зазорами между ними. Следовательно, оптическую модель b-Si можно представить как толстую подложку с регулярно расположенными рассеивателями в виде прямых конусов на поверхности. Основными геометрическими параметрами такой системы являются высота конусов h, диаметр основания конуса d и период t (расстояние между вершин конусов). Естественно, эти геометрические параметры характеризуют структурные свойства b-Si.

Расчетные спектры отражения кремниевых периодических систем с конусами в диапазоне длин волн λ = 300–1400 нм для различных значений высоты конусов представлены на рис. 2. Для сравнения на вставке приведен спектр отражения плоской (зеркальной) кремниевой поверхности. Расчеты проводили при следующих значениях остальных

базовых параметров периодических систем: d = 150 нм и t = 250 нм. Как видно из полученных спектров, наличие поверхностной периодической системы с конусами способствует к значительному снижению коэффициента отражения в широком диапазоне длин волн излучения по сравнению с плоской поверхностью. Полученные результаты ясно показывают, что отражение падает при увеличении высоты конусов.

На рис. 3 представлены рассчитанные значения коэффициента отражения смоделированных систем в длине волн λ = 600 нм в зависимости от диаметра основания конусов при следующих фиксированных значениях остальных базовых параметров: h = 600 нм и t = 250 нм. Видно, что по мере увеличения диаметра отражательная способность уменьшается, но начиная с $d \sim t$ (полное замощение) величина отражения выходит на постоянное значение.

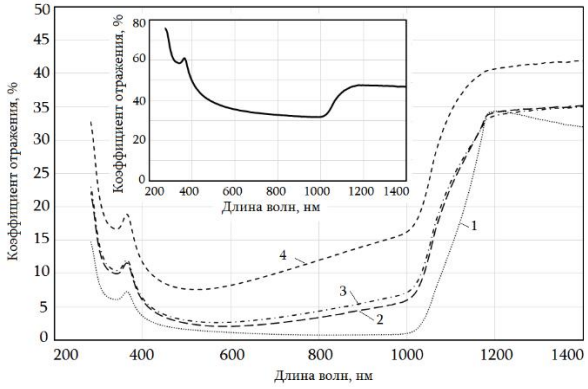


Рис. 2. Спектры отражения кремниевых периодических систем для различных значениях высоты конусов: 1 – 1000 нм; 2 – 700 нм; 3 – 600 нм; 4 – 500 нм.

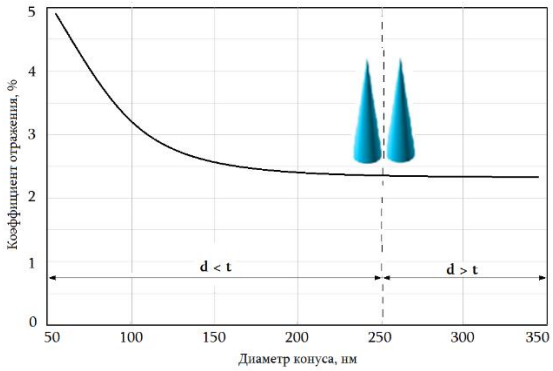


Рис. 3. Коэффициента отражения кремниевых периодических систем в зависимости от диаметра конусов.

Выше представленные данные получены в случае нормальной падении световых лучей. В Таблице 1 приведены значения коэффициента отражения плоских и смоделированных систем в длине волн $\lambda = 600$ нм при различных углах падения световых лучей. Расчеты проводили при следующих значениях базовых параметров периодических систем: $h = 600$ нм, $d = 150$ нм и $t = 250$ нм. Очевидно, что во всех углах падения наноструктурированная поверхность имеет более низкий коэффициент отражения, чем плоская поверхность. Низкая отражательная способность периодических систем с конусами практически сохраняется в широком интервале углов падения лучей (до 60°). Это обстоятельство может существенно увеличить дневную выработку электроэнергии солнечных элементов, работающих в режиме без слежения за солнцем.

Таблица 1. Коэффициент отражения (%) при различных углах падения световых лучей.

Система / Угол	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Плоская	35.12	37.41	40.42	44.20	52.15	69.65	85.14
С конусами	2.55	2.71	3.04	3.48	4.08	11.24	41.45

В заключении отметим, что представленные результаты численных расчетов спектров отражения для периодических систем с конусами хорошо совпадают с данными наших экспериментальных измерений для b-Si [6].

Выводы

Проведено моделирование оптических характеристик b-Si в виде периодической системы, элементарной ячейкой которой является прямой конус. Показано, что увеличение фактора заполнения и высоты конусов способствуют значительному уменьшению отражательной способности. Это означает, что, при технологической возможности, целесообразно в качестве фронтальных антиотражающих поверхностей солнечных элементов использовать b-Si с высокими и плотноупакованными иглообразными выступами.

Список литературы

1. Ayvazyan G.Y., Barseghyan R.N., Minasyan S.A. Optimization of surface reflectance for silicon solar cells // E3S Web of Conferences. 2018. V. 69. P. 01008-010012.

2. Lv J., Zhang T., Zhang P., Zhao Y., Li S. Review application of nanostructured black silicon // Nanoscale Res. Lett. 2018. V.13. P. 11-17.

3. Ayvazyan G.Y., Kovalenko D.L., Lebedev M.S., Matevosyan L.A., Semchenko A.V. Investigation of the structural and optical properties of silicon-perovskite structures with a black silicon layer // J. of Contemporary Phys. 2022. V. 57. P. 274-279.

4. Ying Z., Yang Z., Zheng J., Wei H., Chen L., Xiao C., Sun J., Shou C., Qin G., Sheng J., Zeng Y., Yan B., Yang X., Ye J. Monolithic perovskite/black-silicon tandems based on tunnel oxide passivated contacts // Joule. 2022. V. 6, P. 2644-26451.

5. Han K., C-H. Chang. Numerical modeling of sub-wavelength anti-reflective structures for solar module applications // Nanomaterials. 2014. V. 4. P. 87-128.

6. Ayvazyan G., Vaseashta A., Gasparyan F., Khudaverdyan S. Effect of thermal annealing on the structural and optical properties of black silicon // J. Mater Sci: Mater. Electron. 2022. V. 33. P. 17001–17010.

УДК 532.12: 664.8.022

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ: КРАТКИЙ ОБЗОР
PROBLEMS OF USING HIGH PRESSURE FOR FOOD PROCESSING: A BRIEF OVERVIEW

Наумов Владимир Аркадьевич[1,2]
Vladimir A. Naumov[1,2]

[1]Калининградский государственный технический университет, Россия, Калининград
[1]Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia (e-mail: van-old@mail.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: Рассмотрены некоторые проблемы применения высокого гидростатического давления для обработки пищевых продуктов. Показана необходимость исследования процесса подачи рабочей жидкости в камеру, деформации неоднородных пищевых продуктов и других побочных явлений.

Abstract: Some problems of using high hydrostatic pressure for food processing are considered. The necessity of studying the process of feeding the working fluid into the chamber, deformation of heterogeneous food products and other side effects is shown.

Ключевые слова: пищевые продукты, высокое гидростатическое давление, обработка.

Keywords: food products, high hydrostatic pressure, processing.

Последние десятилетия в пищевой промышленности все шире применяется обработка продукции высоким давлением (ОПВД). Применяемое давление варьируется от 100 до 600 МПа при умеренных температурах (4-20°С) и периоде обработки от нескольких секунд до минут. Компании, производящие оборудование для ОПВД (см., например, [1, 2]), представляют этот метод как универсальный (пригодный для большинства пищевых продуктов), абсолютный (уничтожающий все вредные микроорганизмы), безопасный (сохраняющий свойства и структуру обрабатываемых продуктов). Многие десятки статей, опубликованных в научных журналах, казалось бы, подтверждают такой тезис. Например,

в [3] утверждается, что ОПВД – это экологически чистый метод, который используется при консервировании пищевых продуктов, позволяющий инактивировать патогенные микроорганизмы и растительную порчу без негативного влияния на вкус, текстуру, внешний вид и питательную ценность. Во время ОПВД низкомолекулярные молекулы, такие как витамины, минералы и ароматические соединения, не подвергаются воздействию из-за низкой сжимаемости ковалентных связей [4]. Эта технология удовлетворяет спрос потребителей на продукты с характеристиками, аналогичными характеристикам свежих продуктов. Более того, ОПВД также обладает большим потенциалом для содействия восстановлению полезных соединений, улучшения свойств здоровой пищи, повышения биодоступности микроэлементов и фитохимикатов, снижения аллергенного потенциала некоторых пищевых продуктов, сохранения здоровых липидов, снижения потребления соли за счет повышения восприятия солености и уменьшения образования загрязняющих веществ при обработке пищевых продуктов [5]. Совсем недавно ОПВД также была предложена в качестве полезного инструмента для удаления загрязняющих веществ из пищевых продуктов, таких как пестициды и микотоксины [6].

Может создаться впечатление, что метод ОПВД свободен от проблем и недостатков. В недавнем обзоре [7] отмечается, что в настоящее время технологии ОПВД применяются, практически, ко всем пищевым продуктам, включая как сырье, так готовые продукты или полуфабрикаты. Но внимательное прочтение публикаций, а также наши собственные исследования, позволяют обнаружить ряд серьезных проблем, связанных с применением ОПВД. В упомянутом обзоре отмечается, что до сих пор мало изученным остается механизм воздействия ОПВД на микрофлору продуктов; теоретические модели ОПВД не разработаны.

Еще в статье [8] было исследовано влияние обработки фарша сардины высоким давлением (50, 100 и 180 МПа) и хранения в течение 4 суток при 5°С на окисление липидов. Был сделан однозначный вывод: окисление липидов в обработанном рыбном фарше ускоряется тем больше, чем выше давление. Указанный эффект снижается, если фарш предварительно промывали водой.

Немаловажным вопросом является высокая себестоимость ОПВД. Если эксплуатационный расходы ОПВД сравнимы с другими методами обработки (например, тепловой), то затраты на оборудование, как минимум, на порядок выше. В первую очередь, это связано со стоимостью камеры, способной выдерживать сверхвысокие давления. Кроме того, требуются специальные, далеко недешевые насосы, например,

компании Hippo [9]. Промышленная схема установки для ОПВД показана на рис. 1.

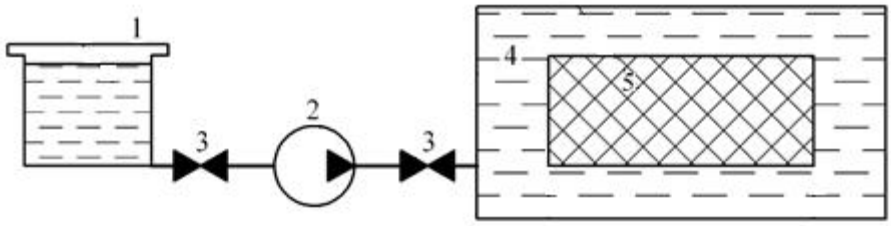


Рис. 1. Схема установки для ОПВД: 1 – емкость с рабочей жидкостью; 2 – насос высокого давления; 3 – вентили; 4 – рабочая камера; 5 – упаковка с пищевым продуктом

Авторы обзора [10] превозносят обсуждаемый метод: применение ОПВД продемонстрировало значительный потенциал и реализовало успех в качестве новой технологии в пищевой промышленности с точки зрения обеспечения безопасности и качественных характеристик по сравнению с термической обработкой, сохраняя свежесть, вкус, аромат и питательность продуктов, что позволяет получать более качественные продукты. Однако они вынуждены были указать на целесообразность применения ОПВД лишь для пищевых продуктов премиум-класса. Подтверждает это и производитель оборудования [11]: Основным направлением применения ОПВД в наше время является обработка морепродуктов и других деликатесов. Связано это с тем, что стоимость оборудования для ОПВД высокая и массового распространения до сих пор не получила.

Результаты применения ОПВД зависят от условий процесса (продолжительность, величина давления, темп нарастания), но в еще большей степени от свойств пищевых продуктов [6, 12]. В одних и тех же условиях ОПВД могут быть получены совершенно разные результаты. Вплоть до образования ядовитых химических веществ, как продуктов распада микотоксинов [10]. Очевидно, прежде чем подвергнуть тот или иной продукт ОПВД в промышленных масштабах, необходимо в лабораторных условиях проверить отсутствие таких веществ. Причем недопустимо экстраполировать ранее полученные результаты даже на сходные продукты.

Рабочей средой в промышленных установках ОПВД является вода (или сходная по свойствам жидкость). В воде давление передается равномерно и мгновенно по всей пищевой системе независимо от раз-

мера и геометрии продукта. Это дает основание утверждать (см., например, [3]), что уменьшение объема продукта и его восстановление не нарушает структуру. Но для этого, как минимум, продукт должен быть однородным и изотропным. Несомненно, какими свойствами обладают жидкие пищевые продукты. Но деформация твердых пищевых продуктов будет различаться по направлениям, даже при одинаковых пространственных воздействиях. Этот вопрос совершенно не исследован до настоящего времени. Впрочем, производители оборудования ОПВД, как правило, указывают ограничение: обрабатываемый продукт должен содержать не менее 40% воды. Что, в определенной степени, может нивелировать такие деформации.

Чаще всего ОПВД сравнивают с термической обработкой. Интересное исследование опубликовано в [13], где были сопоставлены результаты двух этих процессов обработки абрикосового джема. Были изучены следующие показатели: индекс потемнения, содержание витамина С и сахарозы, фурфурол, антоцианы, летучие вещества. Дальнейшее их хранение велось при температуре 25°С до 3-х месяце. Сразу после обработки давлением джем был заметно лучшего качества, приближенного к свежему продукту. При хранении качество обоих образцов оставалось стабильным. Однако при комнатной температуре джем, подвергшийся ОПВД, имел более низкую устойчивость, чем прошедший термическую обработку.

Похожее исследование показателей качества джема было проведено в [14]. Клубничную мякоть смешивали с пектином (1%) и сахаром, фасовали в пакеты из полиэтилена низкой плотности (масса упаковки 50 г) и обрабатывали при 200, 400 и 600 МПа в течение 30 минут при 50°С. Было обнаружено, что аскорбиновая кислота, антоцианы, фенольные соединения, флавоноиды и антиоксидантная активность значительно лучше сохраняются в джемах после ОПВД, по сравнению с джемами, обработанными термически. Однако сенсорные характеристики цвета, внешнего вида, вкуса, текстуры и общей приемлемости образцов, прошедших ОПВД, оказались заметно хуже, чем после термической обработки.

В [15] образцы молока обрабатывались 2-мя способами: 1) ОПВД при 600 МПа в течение 10 минут, 2) термическая обработка при 125°С в течение 4 с. Группа экспертов оценивала по 5-балльной шкале органолептические свойства образцов обработанного молока, включая цвет, молочность, сливочность (сливочный вкус), вкус во рту и послевкусие. Используя формулы математической статистики, авторы [15] сделали вывод, что 61% экспертов отдали более высокое общее предпочтение

молоку, обработанному под высоким давлением, по сравнению с молоком, подвергнутым термической обработке. В действительности, как следует из самой статьи [15], эксперты выставили низкие оценки образцам после ОПВД по двум показателям: послевкусие и сливочность. Причем последний показатель оказался настолько плох, что авторы [15] посчитали важной задачей поиск условий ОПВД, при которых удастся его улучшить.

Промышленные установки для ОПВД (см. схему на рис. 1) весьма дорогостоящие. Поэтому эффективность их использования весьма важна для себестоимости продукции. Установки работают циклически. Производители оборудования ОПВД (например, [1]) представляют цикл изменения давления P по времени T отрезками прямых (рис. 2).

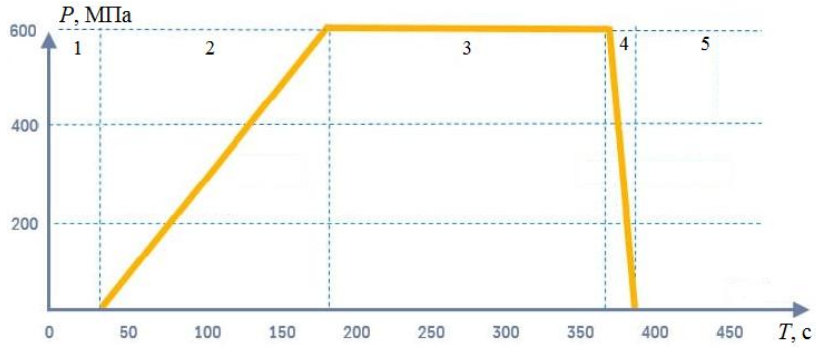


Рис. 2. Цикл работы установки ОПВД: 1 – загрузка рабочей емкости; 2 – повышение давления; 3 – время выдержки; 4 – снижение давления; 5 – разгрузка

В [16] было обращено внимание, что линейная зависимость P от T на 2-м этапе слишком приближенно описывает реальный процесс, что может отразиться на оценке показателей эффективности работы установки. Предложено описывать процесс функцией с крутым подъемом давления в конце 2-го этапа. Что соответствует увеличению подачи насоса 2 на рис. 1 с ростом давления. В действительности, подача насосов, используемых в установках ОПВД (Haskel [17]), падает с увеличением давления.

В [18] была сформирована система дифференциальных уравнений, описывающая подачу жидкости в рабочую емкость и изменение давления в ней. Было показано, что при ОПВД пищевых жидкостей можно ограничиться простой модели объемной деформации. Тогда задача Коши будет иметь в безразмерной форме следующий вид:

$$\frac{d\,p}{d\,\tau}=\frac{q(p)}{(1+\nu(k-1))\varphi'(p)},\quad \frac{d\,\nu}{d\,\tau}=\frac{-k\nu\cdot q(p)}{(1+\nu(k-1))\varphi(p)},$$
$$p(0)=p_A,\quad \nu(0)=\nu_0, \qquad (1)$$

где $p = P/P_M$ – безразмерное давление, P_M – максимальное значение давления (P_M = 600 МПа на рис. 2); $q = G/G_0$. – безразмерная массовая подача насоса, зависимость которой от p, находится по паспортной характеристике, G_0 – наибольшая подача (при атмосферном давлении P_A), кг/с; $\varphi(p)$ – зависимость относительной плотности рабочей жидкости от безразмерного давления; $\nu = V_F/V_0$ – отношение объема упаковки с пищевым продуктом V_F к объему рабочей камеры V_0; ν_0 – значение отношения ν в начале цикла; $k = \beta_F/\beta_w$ – отношение коэффициент объемного сжатия упаковки с пищевым продуктом β_F к соответствующему коэффициенту воды β_w; $\tau=t\cdot G_0/(\rho_{w0}V_0)$ – безразмерное время, ρ_{w0} – плотность рабочей жидкости при атмосферном давлении, кг/м^3.

В [18] было найдено решение задачи Коши (1) численным методом, но только при k=const. Уже такая упрощенная модель позволила оценить влияние значений критериев пододия k и ν_0 на динамику процесса. Но она, строго говоря, пригодна лишь при ОПВД жидких пищевых продуктов. У твердых пищевых продуктов давление в их объеме распространяется в течение определенного времени, зависящего от его свойств [19], а не мгновенно, как у ньютоновских жидкостей.

Таким образом, несмотря на многочисленные хвалебные статьи в научных журналах, проведенный анализ позволяет заключить, что метод ОПВД не является универсальным и требует решения целого ряда серьезных проблем. Высокая стоимость оборудования ОПВД ограничивает его применение пищевыми продуктами премиум-класса. Экспериментальные исследования обнаружили худшие органолептические свойства образцов пищевой продукции (молоко, джем) после ОПВД, по сравнению с термической обработкой. Прежде чем подвергнуть тот или иной продукт ОПВД в промышленных масштабах, необходимо в лабораторных условиях проверить отсутствие образования ядовитых химических веществ, как продуктов распада микотоксинов. Причем экстраполировать ранее полученные результаты даже на сходные продукты недопустимо. Далека от своего решения проблема теоретического анализа процессов, протекающих при ОПВД. Задача математического описания динамики изменения давления в рабочей камере решена лишь в первом приближении для ОПВД пищевых жидкостей.

Список литературы

1. ЕвроФудТехнолоджис. Обработка продуктов питания высоким давлением [Электронный ресурс]. URL: https://eft-rus.ru/novosti/72-hpp-obrabotka-pod-vysokim-davleniem-produktov (дата обращения 01.01.2023).

2. Hiperbaric. High pressure processing of foods [Electronic resource]. URL: https://www.hiperbaric.com/en/high-pressure/ (date accessed 01.01.2023).

3. Pallares N., Sebasti A., Martinez-Lucas V., Gonzalez-Angulo M., Barba F.J., Berrada H., Ferrer E. High pressure processing impact on alternariol and aflatoxins of grape juice and fruit juice-milk based beverages // Molecules. 2021. Vol. 26. DOI: 10.3390/molecules26123769.

4. Oey I., Lille M., Van Loey A., Hendrickx M. Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavour of fruit-andvegetable-based food products: A review // Trends Food Sci. Technol. 2008. Vol. 19. P. 320–328.

5. Barba F.J., Terefe N.S., Buckow R., Knorr D., Orlien V. New opportunities and perspectives of high pressure treatment to improve health and safety attributes of foods: A review. Food Res. Int. 2015. Vol. 77. P. 725–742.

6. Gavahian M., Pallares N., Al Khawli F., Ferrer E., Barba F.J. Recent advances in the application of innovative food processing technologies for mycotoxins and pesticide reduction in foods // Trends Food Sci. Technol. 2020. Vol. 106. P. 209–218.

7. Катанаева Ю.А., Соколов С.А., Севаторов Н.Н. Современное состояние технологий с использованием высокого давления для обработки пищевых продуктов // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2022. № 3. С. 143–161.

8. Tanaka M., Xueyi Z., Nagashima Y. Effect of high pressure on the lipid oxidation in sardine meat // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 1991. Vol. 57, No. 5. P. 957-963.

9. Hippo High Pressure Processing [Electronic resource]. https://en.hpp.co.kr/products/ (date accessed: 01.01.2023).

10. Woldemariam H.W., Emire S.A. High pressure processing of foods for microbial and mycotoxins control: current trends and future prospects // Cogent Food & Agriculture. 2019. Vol. 5. DOI: 10.1080/23311932.2019.1622184.

11. ООО Бестек. Новые технологии HHP [Электронный ресурс]. URL: https://besteq.ru/articles/novye-tehnologii-v-sterilizacii-produktov (дата обращения 01.01.2023).

12. Сукманов В.А., Хазипов В.А., Гаркушина В.Б. Проблемы и перспективы использования высокого давления в пищевых технологиях // Известия вузов. Пищевая технология. 2000. № 2-3. С. 6-10.

13. Kimura K., Ida M., Yosida Y. Comparison of keeping quality between pressure – processed jam and heat – processed jam: changes in flavor components, hue, and nutrients during storage // Biosci. Biotech. Biochem. 1994. Vol. 58. P. 1386-1391.

14. Sravani V.J., Ravi N., Roopa N., Kumar S., Pandey A. K., Chauhan O.P. Use of high pressure technology for the development of novel jam and its quality evaluation during storage. J Food Sci Technol. 2017. Nol. 54. P. 3562–3568.

15. Lim S.H., Chin N.L., Sulaiman A., Tay C.H., Wong T.H. Sensory analysis for cow milk product development using high pressure processing (HPP) in the dairy industry // Foods. 2022. Vol. 11. DOI: 10.3390/foods11091233.

16. Соколов С.А., Селезнева Ю.А., Афенченко Д.С. Моделирование тепломассопереноса в камерах высокого давления с инжекционным подводом рабочей среды // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2016. № 1-4. С. 103–109.

17. ГидроПневмо Агрегат. Жидкостные насосы Haskel [Electronic resource]. URL: http://enerprom.com/catalog/hydrocomp-high/haskel/haskel-pumps/1-12/series300/ (date accessed: 01.01.2023).

18. Наумов В.А., Великанов Н.Л., Шарков О.В. Подача рабочей жидкости в камеру обработки пищевых продуктов высоким давлением // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2022. № 4. С. 287-295.

19. Агеев О.В., Фатыхов Ю.А., Наумов В.А., Самойлова Н.В. Анализ соответствия реологических моделей структурно-механическим свойствам // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2018. № 2. С. 34–43.

УДК 657.9:339.372

ОЦЕНКА СТОИМОСТИ КАК НЕОТЪЕМЛЕМОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ НАУКИ
THE VALUATION AS AN ESSENTIAL SUPPORT OF ENGINEERING SCIENCE

Николай Юрьевич Трифонов[1,2,3]
Nikolai Yu. Trifonov[1,2,3,4]

[1]*Совет объединений оценщиков Евразии, Беларусь, Минск*
[1]*Council of Valuers' Associations of Eurasia, Belarus, Minsk*
(e-mail: soo_sng@tut.by)
[2]*Международная инженерная академия*
[2]*International Academy of Engineering*
[3]*Российская инженерная академия*
[3]*The Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow*
[4]*Royal Institution of Chartered Surveyors, Great Britain, London*

Аннотация: Показана принципиальная необходимость института независимой оценки стоимости для создания и осуществления инженерных проектов.

Abstract: The fundamental necessity of the institution of independent valuation for the creation and implementation of engineering projects is shown.

Ключевые слова: оценка стоимости, оценочная деятельность, инженерная деятельность.

Keywords: valuation, appraisal activities, engineering.

Наука об оценке стоимости представляет собой достаточно сложное явление на стыке экономики и инженерных знаний об объектах оценки, материальных и нематериальных, которые необходимы для определения их стоимостных характеристик. Поэтому иногда говорят об оценке как одном из направлений экономических измерений, а для обозначения специалиста в этой сфере используется термин «инженер-оценщик» [1].

Необходимость оценки стоимости появилась с того времени, как возник рынок, то есть много тысячелетий назад. Уже тогда были разработаны основы оценочной деятельности. В Библии среди законов пророка Моисея, в частности, записано, что земельный участок следует

продавать «по расчислению лет дохода» [2, Бытие 25:15], что можно интерпретировать, как суммарный доход за время экономической жизни. Это вполне коррелирует с доходным подходом к оценке стоимости, применяемым в настоящее время.

Оценщик и его рекомендации были нужны там, где сам собственник, как не специалист, из-за сложности устройства объекта оценки мог допустить ошибку в определении его стоимости, а в силу того, что объект оценки дорогой, эта ошибка могла обойтись ему также очень дорого. Уже в древние времена оценивали некоторые из таких же дорогих и сложных объектов оценки, что и сейчас. В первую очередь объектом оценки была недвижимость, то есть, как определяется это понятие в настоящее время, земля со зданиями и сооружениями, неотъемлемыми от неё. Утверждают, что в Египте известны богато украшенные гробницы придворных оценщиков недвижимости времён фараонов [3]. В средние века с развитием экономических отношений развивалась и оценочная деятельность. В первой половине XV века в законодательстве Англии появились понятия, относящиеся к оценке предприятий и интеллектуальной собственности, в частности, деловая репутация (по-английски goodwill) [4].

В эпоху капитализма оценочная деятельность стала серьёзным фактором обслуживания рынка. Оценка стоимости начала формироваться как неотъемлемое сопровождение инженерной деятельности. Именно тогда применяемые и ныне методы капитализации дохода были разработаны в Англии для оценки угольных шахт как основного имущества акционерных обществ, созданных для их эксплуатации [5].

В современную эпоху стало очевидно необходимость экономического сопровождения инженерной науки, и сопровождения в первую очередь с точки зрения оценки стоимости. Инженерный проект может быть осуществлён лишь при условии необходимого финансирования, он должен быть экономически выгоден человечеству, и оценка стоимости является существенным условием этого процесса. В общем случае оценка стоимости осуществляется тремя стандартными подходами [6]. В качестве таких основных подходов к оценке обычно выделяют:

– доходный подход, заключающийся в подсчёте будущей доходности объекта оценки,

– затратный подход, заключающийся в подсчёте затрат на создание объекта оценки, и

– сравнительный подход, заключающийся в подсчёте стоимости объектов, сравнимых с объектом оценки по полезности.

При этом следует отметить, что крупный инженерный проект нуждается не только в оценке его экономической целесообразности, но

и в постоянном сопровождении оценщика в течение всего времени его осуществления. Более подробно особенности оценки стоимости предприятий и инженерных проектов в современных условиях были разобраны в статье [7].

В инженерной практике часто возникает необходимость в решении задачи инвестиционного выбора того или иного актива (то есть приносящего доход объекта оценки) из нескольких активов аналогичного назначения. При таком выборе целесообразно учитывать не только расходы по приобретению или созданию этого актива, но и расходы, возникающие в процессе всего срока его эксплуатации [8]. Так, для объектов капитального строительства зданий и сооружений, например, магистральных автодорог, выбор типа покрытия влечёт за собой различные сроки и стоимость периодических ремонтных работ. При покупке автомобиля логично ориентироваться не только на цену, но и на стоимость обслуживания, ремонта и запасных частей. Покупая объект информационных технологий, помимо расходов на приобретение оборудования и программного обеспечения, надо также учитывать стоимость эксплуатации, управления и поддержки, связи, расходы конечных пользователей и альтернативные издержки простоя, обучения и других потерь производительности. Всё это потребовало введения в практику новых видов стоимости, расчёт которых учитывает расходы, распределённые во времени в течение экономической жизни объекта оценки. Автором было предложено назвать их стоимостями экономической жизни объекта оценки, отличая их от стандартных [9]. В настоящее время ведены в оборот несколько видов стоимости экономической жизни, в зависимости от включаемых в расчёты показателей. Наиболее общая среди них носит название совокупная стоимость (по-английски total value).

Национальные объединения специалистов по оценке стоимости из стран бывшего СССР с 2002 года объединены в международной ассоциации «Совет объединений оценщиков Евразии» (СОО Евразии), которая является институциональным членом Совета по международным стандартам оценки (по-английски International Valuation Standard Council). В настоящее время обсуждается вопрос о включении этих видов стоимости в Международные стандарты оценки.

Выводы

Институт независимой оценки стоимости появился и развился как ответ на необходимость обслуживания рынка. Результаты инженерной деятельности должны быть экономически реализуемы и экономически целесообразны в использовании. В обеспечении этого и состоит функция оценочной деятельности. В частности, в процессе создания инженерных проектов необходимо участие независимого оценщика уже на

начальной стадии. Для крупных инженерных проектов подобное сопровождение должно осуществляться и на этапе реализации проекта.

Список литературы

1. Трифонов Н.Ю. Комплексная оценка недвижимости: учебное пособие. Минск: Вышэйшая школа, 2022. 238 с.

2. Книги Священного Писания Ветхого и Нового Завета. Канонические. [Б.м.]: Северо-западная библейская комиссия, 1991. Том I. С.147.

3. Лаптева Е.В. Оценочная деятельность от истоков формирования к современности // Вопросы оценки. 2012. № 4. С.50-58.

4. Соколов Я.В., Пятов М.Л.. Гудвилл: «новая» категория бухгалтерского учёта // Бухгалтерский учет. 1997. № 2. С.46-50.

5. Fuhrer M. Our old friend Hoskold // The Appraisal Journal. 1944. Jan. P. 50–51.

6. Международные стандарты оценки; пер. с англ.; ред. колл.: И.Л. Артеменков, С.А. Табакова, М.А. Федотова, Х.М. Увайсова, Н.Ю. Трифонов. Москва: Русское общество оценщиков, 2022. 188 с.

7. Трифонов Н.Ю. Оценка стоимости предприятий и инженерных проектов в современных условиях // Сборник статей международной конференции «Перспективные задачи инженерной науки». Международная инженерная академия. Москва: ООО Издательский дом «Мастер», 2022. С. 393-400.

8. Трифонов Н.Ю. Совокупная стоимость как инструмент сравнения активов // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 12-й Международной научно-технической конференции. В 4 томах. Т. 3. Минск: Белорусский национальный технический университет, 2014. С. 280.

9. Трифонов Н.Ю. Стоимость экономической жизни объекта оценки // Научные труды Белорусского государственного экономического университета. Вып. 16. Минск : БГЭУ, 2023 (в печати).

УДК 677.074

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРОЧНОГО ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ
FEATURES OF THE PROCESS OF STRUCTURE FORMATION OF DURABLE CEMENT STONE

Анатолий Федорович Косач[2], Ирина Николаевна Кузнецова[1,2], Наталья Анатольевна Евдокимова[2], Разият Багаудтиновна Курбанова[1,2]
Anatoliy Fedorovich Kosach[2], Irina Nikolaevna Kuznetsova[1,2], Natalia Anatolyevna Evdokimova[2], Raziyat Bagaudtinovna Kurbanova[1,2]

[1]ФГБОУ ВО Югорский государственный университет, Россия, Ханты-Мансийск
[1] Yugra State University, Russia, Khanty-Mansiysk
(e-mail: inkuznecova@mail.ru, kurbanovarb@yandex.ru)
[2]Ханты-Мансийское региональное отделение Российской инженерной академии
[2]Khanty-Mansiysk Regional Branch of the Russian Academy of Engineering
(e-mail: kosach47@mail.ru)

Аннотация: Рассмотрены некоторые особенности процесса структурообразования прочного цементного камня при использовании отходов кварца и золы гидроудаления, представлены результаты физико-технических показателей прочного цементного камня.

Abstract: Some features of the process of structure formation of durable cement stone with the use of quartz waste and hydraulic ash are considered, the results of physical and technical indicators of cement stone are presented.

Ключевые слова: цементный камень, наночастица, наномодификатор, бетон.

Keywords: cement stone, nanoparticle, nanomodifier, concrete.

Развитие строительного производства обусловливает необходимость создания строительных материалов, применение которых решает экологическую проблему утилизации отходов и позволит сократить расход цемента.

Одним из перспективных направлений в формировании структуры прочного цементного камня с заданными эксплуатационными

свойствами является введение в состав вяжущего наполнителей – наномодификаторов – механически активированных отходов кварца и механически активированную золу гидроудаления.

Использование механически активированных отходов кварца и механически активированную золу гидроудаления как наполнителя – наномодификатора – в структуре цементного камня, будет способствовать повышению его прочности за счет дискретного армирования кварцевыми отходами кварца, зола гидроудаления, проявляя пуццолановою активность с продуктами гидратации цемента, также будет способствовать повышению прочности цементного камня.

Присутствие в системе наноразмерных частиц может существенным образом изменить процессы гидратации и твердения бетонной смеси. Эффект от введения наноразмерных частиц в бетон выражается в том, что в системе появляется не только дополнительная граница раздела фаз, но и носитель квантово-механических проявлений [1].

Формирование капиллярно-пористой структуры прочного цементного камня на минеральном вяжущем, осуществляется в процессе сложного гидратационного взаимодействия твердой, жидкой и газообразной фаз. Прочное сцепление активированных кварцевых отходов с новообразованиями цемента является очень важным в формировании структуры прочного цементного камня. Наполнитель должен обладать большой активностью химического взаимодействия с $Ca(OH)_2$ и другими продуктами гидратации клинкера, и иметь поверхность наиболее совместимую со структурой кристаллизующихся гидратов, для которых эта поверхность служит подложкой [1-5]. Прочность цементного камня формируют продукты твердения силикатов кальция в результате химических и физико-химических взаимодействий.

Методы исследования цементного камня: предел прочности при сжатии образцов определяли на установке с цифровым модулем MATEST; активация отходов кварца и золы гидроудаления проводилась с помощью сухой механической активации в мельнице непрерывного действия роторного типа; средний размер частиц и удельную поверхность наполнителя (наномодификатора) определяли на приборе ПСХ-12; массу образцов определяли на весах ГОСМЕТР ВЛТЭ-150.

Применение золы гидроудаления, прошедшую механическую активацию, позволяет улучшить физико-механические показатели прочного цементного камня, это объясняется тем, что развитая поверхность увеличивает поверхностную активность наночастиц золы при этом возрастает число контактов взаимодействий между частицами, а также оказывает влияние, как на решеточную, так и на электронные подсистемы,

которые влекут за собой изменения физических свойств ультрадисперсных систем [1-6].

Таблица 1. Физико-механические показатели прочного цементного камня

Показатели	Отношение массы наполнителя к массе цемента в %		
	0:100	20:80	30:70
Кварцевые отходы (вторичные отходы): пыль местных отсосов системы аспирации при сухой активации, удельная поверхность 558-955 $м^2/кг$			
средняя плотность, г /$см^3$	2310	2350	2365
прочность при сжатии, МПа	65,0	72,5	76,5
Зола гидроудаления при сухой активации, удельная поверхность – 300 $м^2/кг$			
средняя плотность, г /$см^3$	2155	2195	2145
прочность при сжатии, МПа	58,5	71,5	68,5

На основании полученных результатов при отношении массы механически активированных отходов кварца к массе цемента, прочность при сжатии увеличилась до 15%, при механически активированной золы гидроудаления к массе цемента, прочность при сжатии увеличилась до 18%.

В заключение статьи следует отметить, что использование наполнителей (наномодификаторов) - механически активированных отходов кварца и механически активированной золы гидроудаления, является весьма актуальным. За счет повышения плотности упаковки и химической активности наноразмерных частиц в процессах фазообразования гидратных соединений, снижается межзерновая пустотность между непрогидратированными зернами цемента, улучшается структура прочного цементного камня и физико-механические показатели прочного цементного камня.

Выводы

Рассмотренные особенности процесса структурообразования прочного цементного камня при использовании наполнителей (наномодификаторов) значительно увеличивают плотность цементного камня, улучшая тем самым, физико-механические показатели прочного цементного камня и эксплуатационные характеристики прочного цементного камня.

Список литературы

1. Гусев Б.В. Бетоны с наполнителями различной дисперсности и их наномодификация. // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – Том 10, № 4. – С. 384–393.

2. Формирование структуры композиционных материалов и их свойства / Б.В. Гусев [и др.]; под общ. ред. Б.В. Гусева; Российская инженерная акад., Московский гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). - Москва: Науч. мир, 2006. - 559 с.

3. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. М., Стройиздат, 1998.

4. Косач А.Ф., Кузнецова И.Н., Курбанова Р.Б., Педун Г.А., Прежин С.Е. Оценка влияния кварцевых отходов на физико-механические свойства цементного камня. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2020. № 10 (742). С. 17-26.

5. Darulis M.A., Kuznetsova I.N., Kosach A.F. Structure and properties of the cement stone modified by ultradispersed quartz waste В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012032.

6. I.N. Kuznetsova The technology for concrete production using an activated mixture of wood procession waste and sand. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1093 012018

УДК 544.723.2:621.039.735

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ УРАНА ИЗ ШАХТНОЙ ВОДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КИИК-ТАЛ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
RESEARCH OF URANIUM SORPTION FROM MINE WATER OF THE KIIK-TAL DEPOSIT UNDER STATIC CONDITIONS

Музафар Мамаджанович Юнусов[1,2], Мирзошокири Косимпур Хочиён[1], Саидмукбил Косимович Ходжиев[1]
Muzafar M. Yunusov[1,2], Mirzoshokiri K. Hojiyon[1], Saidmukbil K. Hojiev[1]

[1]Горно-металлургический институт Таджикистана, Бустон
[1]Mining-metallurgical Institute of Tajikistan, Buston
(e-mail: yunusov2001@mail.ru, hojiyon@gmail.com, saidmukbil@mail.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering

Аннотация: В статье приведены результаты исследования процесса сорбции урана из шахтной воды уранового месторождения Киик-Тал. Изучены изотермы сорбции урана. Определена статическая объемная ёмкость (СОЕ) различных ионообменных сорбентов при одинаковых условиях. Установлены наилучший сорбент и его СОЕ, которым является Lewatit DW 630 с СОЕ в 16,48 мг/г.

Abstract: The article presents the results of a study of sorption of uranium from mine water at the Kiik-Tal uranium deposit. The uranium sorption isotherm has been studied. The static volumetric capacity (SEC) of various ion-exchange sorbents were determined under the same conditions. The SEC of the best sorbent was established, which is Lewatit DW 630 and is 16,48 mg/g.

Ключевые слова: шахтная вода, уран, сорбент, сорбция урана, СОЕ сорбентов, изотерма сорбции.

Keywords: mine water, uranium, sorbent, uranium sorption, SEC of sorbents, sorption isotherm.

Как известно, развитие уранодобывающей промышленности связано с применением гидрометаллургических методов при переработке урановых руд, что приводит к образованию больших объёмов отходов, в частности, сбрасываемых шахтных вод, вызывающих нарушения и негативные последствия во всех компонентах биосферы. Анализ ряда

источников свидетельствует, что шахтные воды урановых рудников, наряду с механическими примесями и высокими концентрациями солей, содержат естественные радионуклиды, и это в целом представляет реальную опасность загрязнения земной поверхности и гидрографической сети, и, кроме того, ограничивает использование этих вод в народном хозяйстве [1-4]. Вместе с тем, возможность извлечения содержащегося в сбрасываемых шахтных водах урана делает проблему очистки этих вод еще более актуальной как по экономическим, так и по экологическим соображениям.

Урановое месторождение Киик-Тал, являющееся одним из бывших объектов ядерно-топливного цикла, расположено в южных предгорьях Могол-Тау, в 3,5 км к северу от города Худжанд (Республика Таджикистан). Рельеф месторождения характеризуется сильной расчлененностью и быстрым возрастанием высот от подножия к центру горного массива. Абсолютные отметки высот в районе месторождения в указанном направлении изменяются от 450 м до 1000 м на расстоянии 2 км [5].

Добыча урана в период с 1973 по 1987 год осуществлялось способом подземного выщелачивания слабым сернокислотным раствором. Работы были прекращены по ряду причин, в числе которых было опасение за их влияние на экологическую обстановку правобережной части г. Худжанд.

В процессе опытных работ и эксплуатации месторождения был выявлен ряд факторов, позволяющих с большой долей уверенности сказать, что накопление воды в густой сети горных выработок и технологических скважин, созданных на месторождении, в долгосрочной перспективе приводит к выщелачиванию урана из рудоносной зоны.

К таким факторам, прежде всего, относится тот факт, что на месторождении происходили и происходят в настоящее время мощные процессы гидрогенного преобразования и переотложение уранового оруденения. Этот процесс, после его усиления серной кислотой во время опытно-промышленных работ, продолжается и по сей день, о чем свидетельствуют высокие концентрации урана до 30 мг/л в шахтных водах, вытекающих из нижнего горизонта штольни № 2 уже 36 лет после ликвидации рудника [5].

После закрытия рудника в 1987г. для очистки шахтных вод установлена самотёчная сорбционная установка, заполненная пористой анионообменной смолой АМ-п, где загрязненные воды очищаются от урана, а затем сбрасываются в фильтрационный-испарительный пруд (ФИП), заполненный известняковым щебнем, в котором эти воды нейтрализуются и частично очищаются от избыточной минерализации,

после чего фильтруются в водоносный горизонт четвертичных отложений правого берега реки Сыр-Дарья.

Задачей данного исследования является изучение возможности извлечения урана из шахтных вод месторождения Киик-Тал различными сорбентами как альтернативы к используемой сильноосновной анионообменной смоле АМ-п с тем, чтобы довести его концентрацию в сбросных водах до уровня ПДК, исключив таким образом загрязнение подземных вод.

С целью выбора наиболее эффективного по сорбционным характеристикам сорбента в лабораторных условиях было опробовано 9 образцов различных сорбентов: сильноосновные макропористые аниониты – АМ-п и Lewatit® DW 630; слабоосновной макропористый анионит – АМ-2Б; сильноосновные гелиевые аниониты – АВ-17-8 и АМП; сильнокислотный гелевый катионит – КУ-2-8; слабокислотный макропористый катионит – КМА; твердый экстрагент - ТВЭКС-ТБФ и кокосовый активированный уголь (КАУ) марки 207С. Исследование проводили на пробах шахтных вод, физико-химические параметры и химический состав которых приведен в таблице 1.

Таблица 1. Исходный состав шахтной воды месторождения Киик-Тал.

№ п/п	Физико-химические параметры			Химический состав		
	Определяемые параметры	Значения	ПДК	Компоненты	Концентрация, мг/л	ПДК, мг/л
1	Температура, °С	25,63	-	Zn	0,34	5
2	Электропроводность, мСм	2	-	Cu	0,16	1
3	Удельная электропроводность, мСм/см	1,97	-	Pb	0,31	0,03
4	Растворенный кислород, %	69,17	-	Cd	0,0006	0,001
5	Концентрации растворенного кислорода, мг/л	5,62	-	U	23,17	0,03
6	pH	8,03	6-9	K	0,25	10,0
7	pHmV, мВ	-67,49	-	Na	6,96	160,0
8	ОВП, мВ	15,58	-	HCO_3^-	5,1	
9	Соленость, г/л	1	-	Хлориды	116,98	<350
10	TDS, г/л	1,28	0,35	Нитраты	63,3	<45,0
11	Удельное сопротивление, кОм*см	0,5	-	Сульфаты	680,6	<500

Представленные результаты измерения выполнялись на MULTIMETER 556 PORT, атомно-абсорбционном спектрометре с электротермической атомизацией AAnalyst-800 (Perkin-Elmer, США) и химическим методом анализа.

Методика экспериментов была следующей: для построения изотерм методом «переменных объемов» в колбах объемом 250 мл, содержащие 0,1 г сорбента (в пересчете на сухой сорбент), наливали исследуемую воду в количестве 30, 60, 90 и 120 мл, затем колбы закрыли пробками и поставили на лабораторный шейкер типа IKA KS 260. Время перемешивания шейкером составило 8 часов, после чего колбы оставили на 16 часов для достижения состояния равновесия. По окончанию процесса сорбции в статическом режиме сорбент был отделен от воды, и маточники сорбции проанализированы с помощью атомно-абсорбционного спектрометра [6].

При исследовании зависимости СОЕ всех сорбентов от равновесной концентрации урана использовалась следующая формула:

$$\text{СОЕ} = \frac{(C_{\text{исх.}} - C_{\text{равн.}}) \cdot V}{m} \text{ мг/г}$$

где V – объемы шахтной воды (мл), m – масса сухого сорбента (г), $C_{\text{исх.}}$- исходная концентрация урана, мг/л; $C_{\text{равн.}}$ – равновесная концентрация урана, мг/л.

Полученные результаты по сорбции урана из шахтных вод сильноосновными анионитами представлены на рис. 1. Как видно из представленных результатов, наибольшая селективная сорбция урана получается с применением сильноосновной анионообменной смолы Lewatit DW 630, СОЕ которого составляет 16,48 мг/г (кривая 1). Показано, что при малой остаточной концентрации урана изотермы сорбции резко увеличивается. Следует отметить, что зависимость СОЕ от равновесной концентрации урана является нелинейной, из чего можно сделать вывод, что в последней точке графика он насыщается.

На следующем месте как селективный сорбент стоит АМП с СОЕ 16,02 мг/г при равновесной концентрации урана в растворе около 8 мг/л (кривая 2). Сорбент марки АМ-п по сорбции урана уступил двум вышеприведенным сорбентам, с ним СОЕ достигла 14,63 мг/г (кривая 3). Также видно, что при использовании анионита АВ-17-8 СОЕ достигла 11,45 мг/г (кривая 4), а при применении смолой АМ-2Б (кривая 5) в данном условии СОЕ достигла 6,73 мг/л.

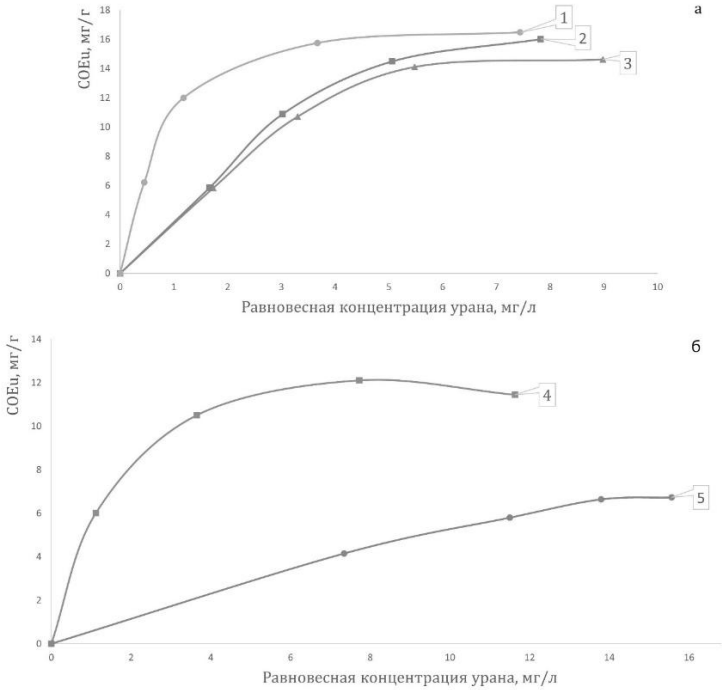


Рис. 1. Изотерма сорбции урана из шахтных вод сильноосновными анионитами: а - 1. – Lewatit-DW-630; 2. – АМП; 3. АМ-п; б - 4. АВ-17-8; 5. АМ-2Б.

Изотермы сорбции урана на остальных исследуемых сорбентов представлены на рис. 2.

Показано, что СОЕ кокосового активированного угля составила 14,11 мг/г (кривая 4), а для остальных сорбентов не увеличивалась выше 5,3 мг/г. Наименьшая СОЕ получается с применением КУ-2-8 - 3,92 мг/г при равновесной концентрации урана в растворе более 17 мг/л (кривая 1).

Таким образом, по эффективности сорбции урана из шахтных вод месторождения Киик-Тал все исследованные сорбенты можно расположить в следующий ряд:

Lewatit DW 630 > АМП > АМ-п > КАУ 207С > АВ-17-8 > АМ-2Б > КМА > ТВЭКС-ТБФ > КУ-2-8

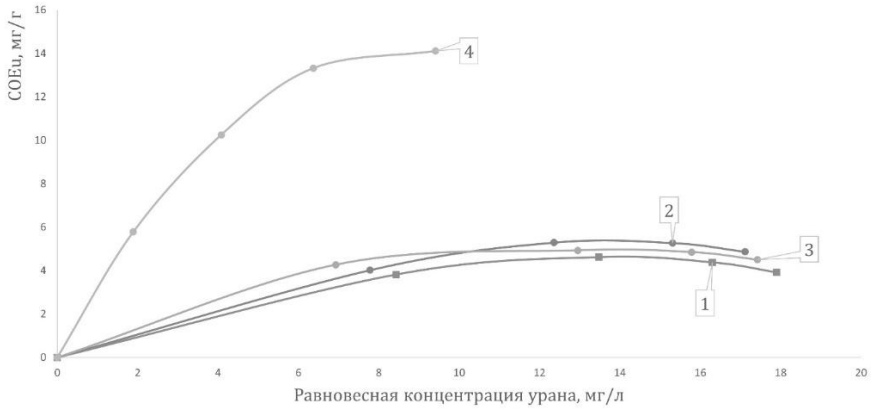


Рис. 2. Изотермы сорбции урана на катионитах, твердом экстрагенте и кокосовом активированном угле: 1. КУ-2-8; 2. КМА; 3. ТВЭКС-ТБФ; 4. активированный уголь марки 207С.

Выводы

Проведённые экспериментальные исследования по сорбционному извлечению урана из шахтных вод месторождения Киик-Тал показали принципиальную возможность применения сильноосновного макропористого анионита Lewatit® DW 630 (компания Lanxess, Германия) как альтернативы к применяемой в настоящее время смоле АМ-п (ГП «Смолы», Украина).

Тестовыми опытами установлено, что наряду с ураном происходит сорбция других радионуклидов (Ra-226 и Pb-210) и тяжелых металлов из шахтных вод месторождения Киик-Тал. Данный вопрос требует дополнительного детального изучения, что будет отражено в последующих исследованиях.

Список литературы

1. Мосинец В.Н., Грязнов М.В. Уранодобывающая промышленность и окружающая среда / Под общ. ред. акад. Б.Н. Ласкорина. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 120с.

2. Карамушка В.П., Камнев Е.Н., Кузин Р.Е. Рекультивация объектов добычи и переработки урановых руд. — М.: Издательство «Горная книга», 2014. — 183с.

3. Филонов А.В., Романенко В.О. Экологические проблемы предприятий горнорудной промышленности // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 3. – С. 210-213.

4. Камнев Е.Н., Карамушка В.П., Селезнев А.В., Морозов В.Н., Хиллер А. Экологические проблемы и их решение при закрытии

урановых производств (на примере России, СНГ и Германии) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 5. – С. 26–39.

5. Разыков З.А., Гусаков Э.Г., Марущенко А.А., Ботов А.Ю., Юнусов М.М. Урановые месторождения Таджикистана. Худжанд.: ООО «Хуросон», 2001.-212с.

6. Атомно-абсорбционный спектрометр AAnalyst 800. Руководство по эксплуатации, 2008. –103 с.

УДК 621. 181. 2

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПАРОГЕНЕРАТОРЫ ИНТЕРБЛОК И ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ НА ИХ ОСНОВЕ
INDUSTRIAL STEAM GENERATORS OF INTERBLOCK AND INNOVATIVE DEVELOPMENTS BASED ON THEM

Олег Владимирович Богомолов[1,2], Виктор Фёдорович Кузин[2], Александр Александрович Малышев[1]
Oleg V. Bogomolov, Viktor F. Kuzin, Aleksandr A. Malyshev

[1]ООО Инженерная компания ИНТЕРБЛОК, Россия, Москва
Engineering company INTERBLOCK, Russia, Moscow
(e-mail: info@interblock.ru, malyshev@interblock.ru)
[2]Российская инженерная академия, Россия, Москва
Russian engineering academy, Russia, Moscow
(e-mail: vfkuzin@mail.ru)

Аннотация: Представлены основные технические характеристики парогенераторов ИНТЕРБЛОК собственного производства, принцип их работы и конструктивные особенности энергонезависимого парогенератора. Описан опыт применения парогенераторов в технологических процессах производства железобетонных изделий, отоплении зданий и сооружений, очистке воды от нефтяных загрязнений при аварийных разливах нефти. Исследована технология получения пара из морской воды.

Abstract: The main technical characteristics of INTERBLOCK steam generators of own production, the principle of their operation and design features of a non-volatile steam generator are presented. The experience of using steam generators in the technological processes of production of reinforced concrete products, heating of buildings and structures, water purification from oil pollution in case of emergency oil spills is described. The technology of obtaining steam from seawater is investigated.

Ключевые слова: парогенератор ИНТЕРБЛОК, тепловлажностная обработка бетонных и железобетонных изделий в пропарочных камерах, отопление и горячее водоснабжение, аварийные разливы нефтепродуктов на водных поверхностях, получение пара из морской воды.

Keywords: The steam generator of the INTERBLOCK, heat and moisture treatment of concrete and reinforced concrete products in steaming chambers, heating and hot water supply, the elimination of emergency oil spills on the water surfaces, and the production of a steam from sea water.

Группа ИНТЕРБЛОК в составе Инженерной компании «ИНТЕРБЛОК» и производственного предприятия «ИНТЕРБЛОК-ТЕХНО», является разработчиком и производителем промышленных парогенераторов ИНТЕРБЛОК (рис.1) и инновационных технологий на их основе. Инновационные разработки защищены патентами [1-3]. Построено более 250 энергетических объектов в России, Белоруссии, Казахстане, Киргизии, Польше, Республике Корея, Украине.

Рис.1 Производственный цех

Основные технические характеристики парогенераторов ИНТЕРБЛОК представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики парогенераторов ИНТЕРБЛОК

Технические характеристики	Модель парогенератора ИНТЕРБЛОК			
	ST-350H	ST-102H	ST-302H	ST-502H
Тепловая мощность, кВт (Гкал/ч)	98 (0,08)	290 (0,25)	870 (0,75)	1450 (1,25)
Паропроизводительность, т/час	0,15	0,5	1,5	2,5
Диапазон рабочих температур пара, °С	100-200	100-200	100-200	100-200
Температура нагретой воды, °С	90	90	90	90
Тепловой КПД, %	97-99	97-99	97-99	97-99
Давление пара, МПа	≤0,05	≤0,05	≤0,05	≤0,05
Потребляемая электрическая мощность, кВт	1,0	5,5	15	35

Расход воды, л/мин ($м^3$/час)	1,5 (0,09)	4 (0,24)	12 (0,72)	19 (1,14)
Расход природного газа, $м^3$/час	10	28	85	142
Расход пропана, л/час	15	34	100	170
Расход дизельного топлива, кг/час	8	23	69	115
Расход печного топлива, л/час	11,5	33	99	165
Расход газоконденсата, л/час	12	34,5	104	173
Расход керосина, л/час	8	22	65	112
Вес установки, т	0,5	1,7	2,2	3,8
Размеры (длина х ширина х высота), м	1,5 х 1,2 х 1,2	1,8 х 1,4 х 1,6	2,0 х 1,7 х 1,8	2,3 х 1,9 х 2,0

Парогенератор выполнен по прямоточной схеме, при которой компоненты парогазовой смеси движутся в проточной части в попутном направлении. Для работы парогенератора необходимы три основных компонента: промышленная вода – 2,5÷3,5 кгс/$см^2$; воздух – расход и давление обеспечиваются воздуходувкой; топливо – природный газ, СУГ, дизельное топливо, газоконденсат, керосин, печное топливо.

В процессе функционирования электродвигатель парогенераторной установки через ременную передачу приводит в действие воздуходувку, которая нагнетает воздух через воздушный фильтр в камеру сгорания, где происходит его смешение с топливом с последующим поджигом топливной смеси. Процесс сгорания газовоздушной смеси происходит в камере сгорания. Устройство сжигания топлива – это высокоэффективный агрегат, который гарантирует практически 100% сгорание топливной смеси. При этом образуется ничтожно малое количество побочных экологически вредных продуктов сгорания. Например, уровень содержания окиси углерода CO в рабочей зоне парогенератора ИНТЕРБЛОК составляет не более 3,48 мг/$м^3$, что существенно ниже ПДК – 20 мг/$м^2$.

Установка оснащена системой автоматического и ручного регулирования и позволяет менять производительность парогазовой смеси и ее температуру. Парогенератор может работать в двух режимах, различающихся величинами расходов топлива и воздуха. Расход парогазовой смеси регулируется ступенчато за счет изменения подачи топлива в камеру сгорания - высокий режим и низкий режим, при соответствующем изменении расхода воздуха. Регулирование температуры парогазовой смеси в диапазоне 100÷200°C осуществляется за счет изменения количества воды, подаваемой в камеру сгорания через водяную форсунку.

Высокотемпературный теплоноситель - парогазовая смесь, подается к потребителю по трубопроводу, рекомендуемая длина которого не должна превышать 300 м.

Коэффициент полезного действия (КПД брутто), представляющий отношение теплоты, переданной рабочему телу, к теплоте, полученной при сжигании топлива, для парогенератора данного типа – 99%. Парогенераторы ИНТЕРБЛОК представляют собой высокоэффективные энергонапряжённые установки, что отражено в таблице 2.

Таблица 2. Энергонапряженность парогенераторов ИНТЕРБЛОК

Параметр	ST-102H	ST-302H	ST-502H
Тепловая мощность (кВт)	290	870	1450
Масса установки (кг)	1680	2180	3770
Габариты: длина (м)	1,83	2,03	2,33
ширина (м)	1,42	1,77	1,98
высота (м)	1,67	1,88	2,03
Энергонапряженность			
на единицу массы (кВт/кг)	0,173	0,399	0,385
на единицу объема (кВт/м^3)	66,8	128,8	154,8

Инновационные разработки Группы ИНТЕРБЛОК.

На протяжении нескольких лет парогенераторы ИНТЕРБЛОК успешно эксплуатируются в России и за рубежом на более 60 заводах по производству железобетонных изделий в технологических процессах тепловлажностной обработки, обеспечивая 3-кратное сокращение затрат на энергоресурсы [4].

В 2019 году по заказу Федерального государственного бюджетного учреждения «Морская спасательная служба» (ФГБУ «Морспасслужба») разработан энергонезависимый парогенератор, не требующий внешнего источника электропитания. Предназначен для эксплуатации на неподготовленных в инженерном отношении площадках при выполнении аварийно-спасательных работ. Энергонезависимые парогенераторы поставлены для Северного, Северо-Западного и Сахалинского филиалов службы. Корабельная модификация энергонезависимого парогенератора разработана по заказу ООО «Газпром нефть шельф», парогенератор установлен на борту аварийно-спасательного судна в 10-футовом морском контейнере, сертифицированном в Морском регистре.

На базе промышленных парогенераторов ИНТЕБЛОК разработаны и поставляются заказчикам ЖКХ автоматизированные блочно-модульные отопительные котельные. Диапазон тепловой мощности от 100 до

5800 кВт. Современная конструкция теплоагрегатов обусловливает беспрецедентно высокий КПД – 97%. Водогрейной БМК ИНТЕРБЛОК обладают рядом технико-экономических преимуществ:

а) Не требуют дымовой трубы, отсутствуют выбросы вредных веществ в атмосферу;

б) Имеют встроенную погодозависимую автоматизированную систему регулирования мощности теплоагрегатов, что обеспечивает автоматическое изменение температуры теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха и сокращает расход топлива на 10-15%.

Справочно: для нагрева на 1 градус 1 кубического метра воды (теплоноситель) дополнительно требуется 1000 ккал тепловой энергии, что соответствует сжиганию дополнительных 0,1 – 0,4 $м^3$ природного газа (в зависимости от его калорийности).

в) БМК оснащены автоматизированной системой каскадного подключения теплоагрегатов в зависимости от температуры наружного воздуха, что сокращает расход топлива на 30-35%.

г) Контроль и управление работой котельной осуществляется дистанционно с использованием компьютера или другого удалённого персонального или коллективного гаджета.

Уникальные технические характеристики теплоагрегатов и передовые конструкторские решения, принятые при создании отопительных водогрейных блочно-модульных котельных ИНТЕРБЛОК, в совокупности обеспечивают 3-кратное сокращение затрат на энергоресурсы и соответствующее уменьшение стоимости 1 Гкал тепла, по сравнению с котловыми технологиями.

В связи с активным освоением Северного морского пути, по заказу ФГБУ «Морспасслужба» разработаны автоматизированные комплексы ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов на ледовой или водной поверхности с очисткой воды от загрязнений для установки на борту многофункциональных аварийно-спасательных судов ледового класса [5, 6].

Исследованы возможности использования промышленных парогенераторов ИНТЕРБЛОК в технологии очистки внутренних поверхностей топливных резервуаров от нефтяных шламов и отложений, Парогазовоздушная смесь в составе: водяной пар – до 75% об., углекислый газ – до 10% об. и кислород – до 15% об. обладает функцией флегматизатора, что обеспечивает пожаро- и взрывобезопасность процесса дегазации при очистке резервуара. Отсутствие дымовой трубы у парогенераторов обеспечивает высокий КПД комплекса, его экологическую безопасность и экономичность.

Выводы

Отечественные промышленные парогенераторы, разработанные Группой ИНТЕРБЛОК, выполнены по самым современным схемам, некоторые решения обладают несомненной новизной, защищены патентами и опережают технический уровень аналогов, выпускаемых другими производителями как российскими, так и зарубежными.

В настоящее время парогенераторы ИНТЕРБЛОК являются одними из самых надежных и экономичных в своем классе оборудования по критерию «затраты на топливо-производительность», что обеспечивает кратное снижение затрат на топливно-энергетические ресурсы в себестоимости выпускаемой промышленными предприятиями продукции.

Список литературы

1. Пат. 181138 Российская Федерация, МПК F22B1/24. Парогенератор / О.В. Богомолов и др.; заявитель и патентообладатель ООО «ИнтерБлок-Техно». - №2017126052/06; заявл.20.07.2017, опубл. 2018.07.05, Бюл. № 19.

2. Пат. 2598667 Российская Федерация, МПК B28B 11/24, Способ получения теплоносителя для тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий / О.В. Богомолов и др.; заявитель и патентообладатель ООО «ИнтерБлок-Техно». - №2015136195/03; заявл. 2015.06.10, опубл. 2016.07.20, Бюл. № 27.

3. Пат. 2591217, Российская Федерация, МПК C04B 40/02, Способ тепловлажностной обработки бетонных изделий / О.В. Богомолов, А.А. Малышев Заявитель и патентообладатель ООО «ИнтерБлок-Техно». – № 2015122072/03; заявл. 2015.08.27.10, опубл. 2016.09.27, Бюл. № 20.

4. Богомолов О.В. Эффективное энергосбережение на заводах железобетонных изделий – опыт применения парогенераторов // Бетон и железобетон – взгляд в будущее. III Всероссийская (II Международная) конференция по бетону и железобетону. Москва, 12-16 мая 2014г. Том V.

5. Пат. 2643271, Российская Федерация, МПК E01H 5/10, Способ очистки льдин/снега от нефтяных загрязнений и ледоплавильный комплекс для его реализации / О.В. Богомолов и др.; заявитель и патентообладатель ООО «ИнтерБлок-Техно». - № 2017104484; заявл. 2017.02.13, опубл. 2018.01.31, Бюл. № 4.

6. Богомолов О.В., Малышев А.А. Автоматизированный ледоплавильный комплекс «ИнтерБлок-Криброл» с функцией разделения нефти и воды // Бурение и нефть 06/2017, С. 26-28

УДК 691.175

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИРОВАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ВСПЕНИВАНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЛАНАРИЗАЦИИ
PREPARATION OF POLISHING MATERIALS BY SOLID-STATE FOAMING FOR USE IN THE PROCESS OF CHEMICAL MECHANICAL PLANARIZATION

Дмитрий Игоревич Терашкевич[1], Елена Сергеевна Бокова[1,2], Григорий Михайлович Коваленко[1]
Dmitry I. Terashkevich[1], Elena S. Bokova[1,2], Grigory M. Kovalenko[1]

[1]Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
[1]The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: terahkevih-di@rguk.ru, esbokova@ya.ru, gregoryi84@mail.ru)
[2]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[2]Russian Engineering Academy, Russia, Moscow
(e-mail: esbokova@ya.ru)

Аннотация: Рассмотрено применение метода твердотельного вспенивания для получения полировальных полиуретановых материалов различной жесткости с регулируемой пористостью для применения в процессе химико-механической планаризации.

Abstract: The application of the solid-state foaming method to obtain polishing polyurethane materials of various stiffness with adjustable porosity for use in the process of chemical-mechanical planarization is considered.

Ключевые слова: химико-механическая планаризация, полировальные материалы, полируемые пластины, полиуретаны, пористая структура, пористость, структурообразование.

Keywords: chemical-mechanical planarization, polishing materials, polished plates, polyurethanes, porous structure, porosity, structure formation.

Одной из областей применения пористых полимерных материалов на основе полиуретанов является процесс химико–механической планаризации (ХМП), как одна из основных операций в производстве интегральных схем (ИС) для полупроводниковых устройств. При этом речь идет как о жестких пенопластах, применяемых непосредственно

для планаризации, так и о «мягких» полиуретановых системах, используемых для заключительного полирования полупроводниковых пластин.

ХМП – это глобальный процесс выравнивания поверхности полировальной пластины с использованием комбинаторики химического и механического воздействия, в процессе которого полируемый материал в присутствии абразивной суспензии перемещается по поверхности полировального диска при периодическом кондиционировании последнего (рис. 1) [1].

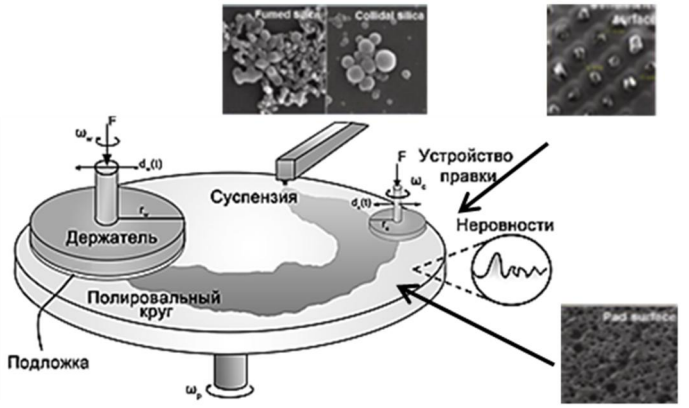


Рис. 1. Схема процесса ХМП с обозначением основных расходных материалов

Несмотря на то, что абразивная суспензия, полировальный диск и кондиционер относятся к категории расходных материалов, их структура и свойства в существенной степени влияют на характер взаимодействия с полируемой пластиной, что, в конечном счете, определяет ее плоскостность, как основную функциональную характеристику для производства ИС [2, 3].

Говоря о полировальных материалах, следует осметить, что они производятся на основе полиуретанов, как правило, обладают пористой структурой и имеют дополнительно нанесенные канавки, которые вместе с порами являются своеобразными резервуарами для исключения явления «голодания» суспензией и ее равномерного распределения между полировальной пластиной и полировальным материалом [4, 5].

Анализ литературы показывает, что, одним из основных структрных параметров полировальных материалов, определяющих эффективность их применения в процессе ХМП, является размер пор и равномерность их распределения [6, 7].

Процесс порообразования при переработке полиуретанов может осуществляться такими методами как фазовое разделение раствора полимера в среде нерастворителя; химическое вспенивание в ходе реакции синтеза ПЭУ при одновременном их жидкостном формовании в изделие; добавление в полиольный компонент полых микросфер; физическое вспенивание, путем насыщения газом; твердо–механическое вспенивание и др. [8-11].

Последний, достаточно подробно описан в работах [12-15] и некоторые его элементы были заимствованы в настоящей работе для получения полировальных образцов различной твердости и пористости, в том числе на основе отечественных ПУ.

При этом в работе технология использовалась для интуиционного моделирования процесса получения полировальных материалов с прогнозируемым размером пор, и другими характеристиками, необходимыми для эффективного процесса ХМП.

Целью исследования являлось определение влияния условий процесса ТМВ на морфологию пористых материалов различной твердости, с широким диапазоном размера пор и значением пористости для их дальнейшего применения в процессе ХМП.

В качестве исходных образцов для вспенивания использовали готовые пластины на основе термопластичных полиуретанов промышленного производства толщиной 0,5±0,1мм, твердостью по Шору 50 D марки «Витур ТМ-0533-90»; твердостью 69D по Шору марки «Витур ТМ-0333-95» (производство ООО НПФ «Витур», г. Владимир).

Порообразование в твердом состоянии проводили в сосуде высокого давления (Р=2–5±0,01 Мпа) в диапазоне температур от 100 до 170°С в лабораторных условиях на специально собранной установке.

В сосуд подавали углекислый газ до требуемого давления и поддерживали заданную температуру. Среднее время насыщения образца ($t_{нас}$, час) составляло 8 часов. После этого давление быстро сбрасывали (примерно 2 минуты) и образец, насыщенный газом, помещали в ванну с горячим силиконовым маслом (температура вспенивания, $T_{вс}$, °С) выше температуры стеклования полимера ($T_{ст}$), но ниже температуры его плавления $T_{пл}$.

Время выдержки образцов в масляной среде, необходимое для полного вспенивания, составляло порядка 30 – 90 сек., в зависимости от

начальной твердости полиуретана. Вспененные образцы тщательно промывали спиртом для удаления остатков масла и сушили в вакууме для последующих исследований.

Пределы равновесной концентрации газа ($С_{газ}$, %) и температуры вспенивания определяются твердостью полимера. Более мягкие ТПУ при заданном давлении газонасыщения ($Р_{нас,}$ МПа) поглощали больше газа по сравнению с более жесткими. Кроме того, в случае мягких материалов необходимо было поддерживать более низкую температуру вспенивания ($Т_{вс}$, °С) из-за их более низких температур плавления по сравнению с жесткими ТПУ.

Таблица 1. Параметры процесса твердотельного вспенивания

№	Тв по Шору, D	$Р_{нас}$, МПа	$Т_{газ}$, ^{0}С	$t_{нас}$, час	$С_{газ}$, %	$Т_{вс,}$ ^{0}С	$t_{вс}$, сек
1	50	3	15	8	5,5	140	40
2	69	2,5	15	8	2,0	150	90

Варьируя время и температуру процесса порообразования при фиксированном давлении насыщения образцов газом, были получены пористые материалы с широким диапазоном размеров пор и пористостью (таблица 2). Основной интерес представляли образцы с одинаковым размером пор, но разной пористостью, или с одинаковой пористостью, но разным размером пор.

Таблица 2. Параметры процесса твердотельного вспенивания

№ Образца	$Р_{нас,}$ МПа	$Т_{вс}$, °С	ρ, г/см^3	П (%)	Ср. размер пор (мкм)	Твердость по Шору, А	$С_{газ}$, %
Твердость 50 по Шору А							
1	3,02	137	0,551	48	40	70	5,5
2	6,50	110	0,716	44	5	60	4,0
Твердость 69 по Шору D							
3	3,5	145	0,9140	30	8	85	1,5
4	5,00	145	0,812	30	6	96	3,1
5	2,55	150	1,013	15	50	97	2,0
6	2,41	160	1,015	14	110	95	2,0

Как видно из данных таблицы 2, давление в сосуде и температура порообразования оказывают существенное влияние на морфологию получаемых материалов.

Согласно закону Генри, для ТПУ определенной твердости растворимость CO_2 возрастает с увеличением давления [15]. Например, если сравнить два образца №3 и №4, одинаковой твердости, полученные при разном давлении насыщения 3.5 и 5 МПа, но при одинаковой температуре T=145°C, то концентрация газа во втором будет практически в два раза больше, чем в первом.

Влияние температуры вспенивания на морфологию образцов при прочих равных условиях можно проследить на Образцах №5 и №6. При одинаковой концентрации газа (2%) более высокое значение температуры вспенивания приводит к увеличению размера пор практически в два раза, при этом общая пористость материалов практически одинаковая и составляет порядка 15%.

На рис. 2 приведена микрофотография поперечного сечения вспененного материала твердостью 88 А по Шору, полученного в работе [15] методом ТВМ. Морфология материалов характеризуется наличием непористых поверхностных слоев, толщиной порядка 250-300 мкм, с обеих сторон образца и однородной мелкопористой структурой, толщиной 1250 мкм в середине.

Такая морфология пористой структуры характерна для большинства материалов, полученных с использованием процесса ТМВ, и является предметом исследований ряда работ [16].

Причина образования градиента связана с более высокой скоростью диффузии газа с поверхности полимерной пластины во время процесса порообразования, что приводит к его более низкой концентрации в этом слое и требует более высокой температуры для зарождения пор.

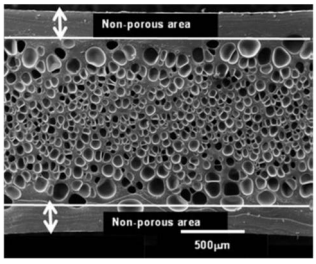
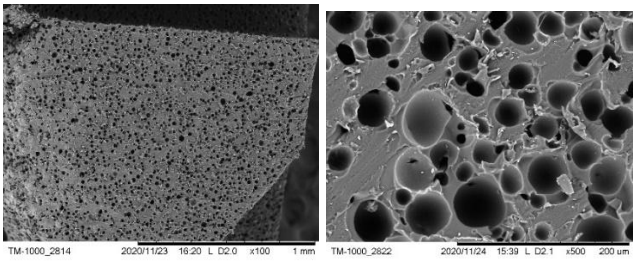


Рис. 2. СЭМ изображение микроструктуры поперечного сечения пористого материала на основе ТПУ жесткостью 88 А по Шору, полученного методом ТВМ [15]

Методом СЭМ исследована морфология образцов №4 и 6, со средним фото их поперечного сечения приведены на рис. 3.



а б

Рис. 3. Микрофотографии СЭМ поперечного сечения пористых образцов №4 (а) и №6 (б). Твердость 95 по Шору А; пористость образцов – 15%; размер пор: (а) – 6 мкм; (б) – 110 мкм.

Очевидно, что у материалов, полученных в работе практически отсутствует плотный поверхностный слой, наличие и толщина которого зависит, прежде всего, от твердости ТПУ. Для более твердых ТПУ (70-90 D) с температурой стеклования порядка 40-50°С, морфология поверхностного слоя едва различима, в то время как для более мягких (50-70А), температура стеклования, которых составляет минус 10-15°С толщина поверхностного слоя может составлять до 300 мкм (рис. 2).

Выводы

Таким образом, показано, что метод твердотельного вспенивания позволяет получать материалы разной жесткости с широким диапазоном размера пор, которые можно регулировать путем варьирования параметров процесса. Это позволяет использовать его как инструмент прогнозирования влияния твердости ТПУ, состояния поверхности полировального материала, а также размера пор и пористости на функциональные свойства полировальных материалов для процессов ХМП – обеспечение равномерного профиля полировальной пластины и высокой скорость удаления оксидного слоя.

Список литературы

1. P.B. Zantye, A. Kumar, and A.K. Sikder: Chemical mechanicalplanarization for microelectronic applications. Mater. Sci. Eng.Rep. 45, 89 (2004).

2. T.K. Doi: Polishing technology, in Handbook of Lapping andPolishing, edited by D. Ioan and D. Marinescu (CRC Press, 2006),chap. 6.

3. C.L. Borst, W.N. Gill, and R.J. Gutmann: Chemical MechanicalPolishing of Low Dielectric Constant Polymers and OrganosilicateGlasses: Fundamental Mechanisms and Application to IC Interconnect Technology (Kluwer Academic Publishers, Boston, MA,2002).

4. S. Lawing, “Pad conditioning and textural effects in chemical mechanical polishing,” in Proc. CMP-MIC, 2005, pp. 33–42.

5. Ali and S. R. Roy, “Pad conditioning in interlayer dielectric CMP,”Solid State Tech., vol. 40, pp. 185–191, Jun. 1997.

6. C.L. Elmufdi and G.P. Muldowney: The impact of diamondconditioning on surface contact in CMP pads. In Mat. Res. Soc.Symp. Proc. : Advances and challenges in CMP, edited by S. V.Babu, K. C. Cadien, J. G. Ryan, and H. Yano (MRS, Warrendale,PA, 2007) 991, pp. C01-02.

7. C.L. Markham: 12th Int. CMP-MIC Conf. Proc., Vol. 20, Fremont,CA, 2007.

8. H.F. Reinhardt, J.V.H. Roberts, H.G. McClain, W.D. Budinger, andE.M. Jensen: Polymeric polishing pad containing hollow polymericmicroelements. U.S. Patent No. 5 578 362, 1996.

9. Y. Mochizuki: Urethane molded products for polishing pad andmethod for making same. U.S. Patent No. 6239188B1, 2001.

10. K. Imada: Method of producing polishing sheet material. U.S.Patent No. 5094670, 1992.

11. M.F. Hoffstein and T. Shinagawa: Inverted cell pad material forgrinding, lapping, shaping and polishing. U.S. Patent No. 4841680,1989.

12. C.L. Markham: 12th Int. CMP-MIC Conf. Proc., Vol. 20, Fremont,CA, 2007.

13. J.E. Martini-Vvedensky, F.A. Waldman, and N.P. Suh: The productionand analysis of microcellular foams. (Society of Plastic EngineersTechnical paper, 28, 1982) p. 674.

14. K. Nadella, S. Powers, and T. Malone: Methods and pressurevessels for solid-state microcellular processing of thermoplasticrolls or sheets. U.S. Patent No. 8 080 194, 2010.

15 .Prasad, Abaneshwar & Fotou, George & li, Shoutian The Effect of Polymer Hardness, Pore Size and Porosity on the Performance of Thermoplastic Polyurethane-Based Chemical Mechanical Polishing Pads. Journal of Materials Research. 2013, 28, pp. 2380-2393.

16. K. Nadella, F. Mehta, V. Kumar, and W. Li: Predictions of densityvariation in thick microcellular sheets (Society of Plastics Engineers Technical Papers, 50, 2004) p. 2610.

УДК 5I3.7

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ МНОГОЯЗЫКОВОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ПЕРЕВОДЧИКА
MODELS AND ALGORITHMS OF A MULTILINGUAL COMPUTER TRANSLATOR

Хакимов Муфтах Хамидович[1,2]
Khakimov Muftah Hamidovich[1,2]

[1]Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека, Узбекистан, Ташкент
[1]National university of Uzbekistan after Mirzo Ulugbek, Uzbekistan, Tashkent
(e-mail: muftah@mail.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering

Аннотация: В настоящей работе изложены лингвистические модели и алгоритмы для среды многоязыкового компьютерного переводчика. Для описания лингвистических моделей и алгоритмов используются обозначения и терминология расширяемого входного языка, разработанного для формализации и моделирования естественных языков. Приведены лингвистические модели английского, русского и узбекского языков и алгоритмы перевода по всем направлениям.

Abstract: This paper presents linguistic models and algorithms for environment of a multilingual computer translator. To describe linguistic models and algorithms, the notation and terminology of the extensible input language, developed for the formalization and modeling of natural languages, is used. Linguistic models of English, Russian and Uzbek languages and translation algorithms in all directions are given.

Ключевые слова: лингвистическая модель, алгоритм, среда, компьютерный переводчик, расширяемый входной язык, естественные языки.

Keywords: linguistic model, algorithm, environment, computer translator, extensible input language, natural language.

1. Введение

Машинный перевод с развитием и новыми технологиями вычислительной техники особенно за последние 30 лет бурно развивается [2]. Новые технологии искусственного интеллекта импульс многим сферам науки и техники, в т.ч. и машинному переводу. Многоязыковые системы

компьютерных переводчиков применяют некоторые технологии искусственного интеллекта. Но не сдаются и сравнительно новые технологии машинного перевода [3, 4], т.к. технологии искусственного интеллекта при компьютерном переводе, пока не могут адекватно анализировать семантику естественного языка. Поэтому любая современная технология машинного перевода стремится к более глубокому «осмыслению» семантики естественного языка.

Наши исследования в области машинного перевода, также продвигаются, и накапливается научный опыт по обработке семантики естественных языков. Наша система компьютерного переводчика предполагает включение в среду одноядерного переводчика английский, русский и узбекский языки. Она разрабатывается на основе технологии моделируемого компьютерного переводчика [5, 6], которая включает лингвистические и математические модели естественных языков [5], различные базы: терминов, фраз и семантические [5]. Лингвистических моделей построенных на основе типа слов и расположенных в определенной последовательности при построении предложений, назовём *логико-лингвистическими моделями первого типа*, например логико-лингвистические модели английского, русского и узбекского языка [5, 6]. При переводе текстов на основе *логико-лингвистических моделей второго типа* учитывается структура построения предложения. Т.к. структура построения английского, русского и узбекского языка кардинально отличаются между собой, во-первых, необходимо определить из каких частей (подлежащее, определитель, дополнение, обстоятельство и сказуемое) состоит предложение. Во-вторых, в какой последовательности они могут быть расположены при разных типах предложений: повествовательном, вопросительном и восклицательном.

Согласно вышеизложенного, здесь мы рассматриваем логико-лингвистические модели второго типа на примере трех естественных языков и разработанные алгоритмы для многоязычной системы машинного переводчика.

2. Укрупненная функциональная схема среды компьютерного переводчика

Для осуществления выше намеченных целей, расширяем входной язык моделирования естественных языков [5] и вводим следующие дополнительные символы в соответствии с нижеследующей таблицей 1.

Таблица 1. Новые символы и функции расширяемого входного языка

Символы	Функции	Символы	Функции
EVX	Текст перевода	Q1	База всех корневых слов языка
EVIX	Переведенный текст	Q2	База всех производных слов языка
E5	Подлежащее	R_i	База терминов и фраз по предметным областям
E6	Определитель	M5	Восклицательные слова английского языка
E7	Дополнение	M6	Послелоги и модальные слова английского языка
E8	Обстоятельство	$T2_{i1}$	Множество, состоящее из слов языка A и их назначений в предложении; $1 \le i1 \le m$
G2	Сказуемое	$T3_{j1}$	Множество, состоящее из переведенных слов на языке B и их назначений в предложении; $1 \le j1 \le m1$

Базы из таблицы создаются для каждого естественного языка входящего в состав среды системы переводчика.

Укрупненная функциональная схема функционирования алгоритмов перевода повествовательного (E1), вопросительного (E2) и восклицательного (E3) предложений текста EVX с языка Ω на язык Ψ (текст EVIX) приведена на рис. 1.

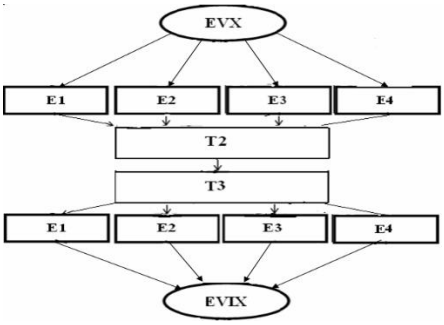


Рис. 1. Укрупненная функциональная схема среды компьютерного переводчика

3. Лингвистические модели по типам предложений

Для построения лингвистических моделей необходимо сличить конструкции однотипных предложений и выявить общие подходы. Мы построим лингвистические модели по типам предложений узбекского языка, построим соответствующие лингвистические модели английского и русского языков. Все операции и обозначения применены в соответствии с расширяемым входным языком [5, 7].

3.1. Лингвистические модели повествовательных предложений

Простые повествовательные предложения узбекского языка соответствуют следующим лингвистическим моделям:

1. <E5> ⊕ ↓<E6> ⊕ ↓<E7> ⊕ ↓<E8> ⊕ <G2>
2. ↓<E6> ⊕ <E5> ⊕ ↓<E7> ⊕ ↓<E8> ⊕ <G2>
3. ↓<E6> ⊕ ↓<E6> ⊕ <E5> ⊕ ↓<E7> ⊕ ↓<E8> ⊕ <G2>
4. <E5> ⊕ ↓<E6> ⊕ ↓<E7> ⊕ <G2>
5. <E5> ⊕ <G2>
6. <E5> ⊕ ↓<E8> ⊕ <G2>
7. <E5> ⊕ ↓<E7> ⊕ <G2>

На русском языке были выявлены 11 типов моделей повествовательных предложений [5]. Ниже приведены лингвистические модели русского языка, которые соответствуют лингвистическим моделям повествовательных предложений узбекского языка:

1. <E5> ⊕ ↓<E6> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E7> ⊕ ↓<E8>
2. ↓<E6> ⊕ <E5> ⊕ ↓<E8> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E7>
3. ↓<E6> ⊕ ↓<E6> ⊕ <E5> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E7>
4. <E5> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E7> ⊕ ↓<E6>
5. <E5> ⊕ <G2>
6. <E5> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E8>
7. <E5> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E7>

Соответствующие лингвистические модели повествовательных предложений английского языка:

1. <E5> ⊕ ↓<E6> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E7> ⊕ ↓<E8>
2. ↓<E6> ⊕ <E5> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E7> ⊕ ↓<E8>
3. ↓<E6> ⊕ ↓<E6> ⊕ <E5> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E7>
4. ↓<E6> ⊕ <E5> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E7>
5. <E5> ⊕ <G2>
6. <E5> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E8>
7. <E5> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E7>

3.2. Лингвистические модели вопросительных предложений

Простые вопросительные предложения узбекского языка соответствуют следующим лингвистическим моделям:

1. <M4> ⊕ ↓<E8> ⊕ ↓<E8> ⊕ ↓<E8> ⊕ <G2>
2. <M4> ⊕ ↓<E8> ⊕ ↓<E8> ⊕ <G2>
3. ↓<E8> ⊕ <M4> ⊕ <G2>
4. <M4> ⊕ ↓<E8> ⊕ ↓<E8> ⊕ <G2>
5. ↓<E8> ⊕ ↓<E8> ⊕ <M4> ⊕ <G2>

На русском языке выявлены 9 типов моделей вопросительных предложений. Лингвистические модели русского языка, соответствующие вышеприведенным лингвистическим моделям узбекского языка:

1. <M4> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E8> ⊕ ↓<E6> ⊕ ↓<E7>
2. <M4> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E7>
3. <M4> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E6> ⊕ ↓<E7>
4. <M4> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E7>⊕ ↓<E8>

Лингвистические модели английского языка, соответствующие вышеприведенным лингвистическим моделям узбекского языка:

1. <M4> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E8> ⊕ ↓<E7>
2. <M4> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E7>
3. <M4> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E6> ⊕ ↓<E8>
4. <M4> ⊕ <G2> ⊕ ↓<E7> ⊕ ↓<E8>

4. Алгоритмы по направлениям перевода

Введем следующие обозначения для описания укрупнённых алгоритмов среды переводчика:

Q1_uz – все корневые слова узбекского языка; *Q2_uz* – все производные слова узбекского языка; *Q1_ru* – все корневые слова русского языка; *Q2_ru* – все производные слова русского языка; *Q1_eng* – все корневые слова английского языка; *Q2_eng* – все производные слова английского языка; E_i – все предложения выделенные из текста EVX, где, $1 \le i \le n$; $L1_J$ – все слова выделенные из E_i, где $1 \le j \le n1$;

4.1. Алгоритмы по направлению перевода узбекский-русский:

1. Поиск каждого слова из L1j по Q1_uz. Если истина, то к шагу 2, иначе к шагу 4.
2. Определить из Q1_uz ID искомого слова на узбекском языке.
3. Найти из Q1_ru перевод корневого слова и перейти к шагу 7.
4. Поиск каждого слова из L1j по Q2_uz.
5. Определить из Q2_ru ID искомого слова.
6. Найти из Q2_ru перевод производного слова.
7. Определить назначения слов и разместить их во множество T3i1.
8. Множество T3i1 передать к функции UzbekRus(T3i1).

9. Результаты функции UzbekRus(T3i1) разместить в EVIX.

Функция UzbekRus($T3_{i1}$) выполняет алгоритм UZ_RU из [1]. Эта функция анализирует все модели построения слов русского языка из [5] и находит из них соответствующую модель относительно предложения, заданного на узбекском языке.

Алгоритм, реализованный в функции UzbekRus($T3_{i1}$) приведен ниже:

1. Назначения слов из T3i1 загрузить в E8k .
2. По структуре предложения из E8k га найти соответствующее предложение из ET1k1.
3. Результаты передать выходным параметрам функции UzbekRus(T3i1).

Здесь $E8_k$ – изъятые из множества $T3_{i1}$ части предложений, $1 \leq k \leq n2$; $ET1_{k1}$ – модели предложения русского языка, соответствующие моделям предложений узбекского языка, $1 \leq k1 \leq m2$.

4.2. Алгоритмы по направлению перевода русский-узбекский:

1. Поиск каждого слова из L1j по Q1_ru. Если истина, то к шагу 2, иначе к шагу 4.
2. Определить из Q1_uz ID искомого слова на русском языке.
3. Найти из Q1_uz перевод корневого слова и перейти к шагу 7.
4. Поиск каждого слова из L1j по Q2_ru.
5. Определить из Q2_uz ID искомого слова.
6. Найти из Q2_uz перевод производного слова.
7. Определить назначения слов и разместить их во множество T3i1.
8. Множество T3i1 передать к функции RusUzbek (T3i1).
9. Результаты функции RusUzbek (T3i1) разместить в EVIX.

Функция RusUzbek($T3_{i1}$) выполняет алгоритм RU_UZ из [1]. Эта функция анализирует все модели построения слов узбекского языка из [5] и находит из них соответствующую модель относительно предложения, заданного на русском языке.

Алгоритм, реализованный в функции RusUzbek ($T3_{i1}$) приведен ниже:

1. Назначения слов из $T3_{i1}$ загрузить в $E8_k$.
2. По структуре предложения из $E8_k$ га найти соответствующее предложение из $ET2_{k1}$.
3. Результаты передать выходным параметрам функции RusUzbek($T3_{i1}$).

Здесь $ET2_{k1}$ – модели предложения узбекского языка, соответствующие моделям предложений русского языка, $1 \leq k1 \leq m2$.

4.3. Алгоритмы по направлению перевода узбекский-английский:

1. Поиск каждого слова из L1j по Q1_uz. Если истина, то к шагу 2, иначе к шагу 4.
2. Определить из Q1_uz ID искомого слова на узбекском языке.
3. Найти из Q1_eng перевод корневого слова и перейти к шагу 7.
4. Поиск каждого слова из L1j по Q2_uz.
5. Определить из Q2_eng ID искомого слова.
6. Найти из Q2_eng перевод производного слова.
7. Определить назначения слов и разместить их во множество T3i1.
8. Множество T3i1 передать к функции UzbekIngliz (T3i1).
9. Результаты функции UzbekIngliz (T3i1) разместить в EVIX.

Функция UzbekIngliz($T3_{i1}$) выполняет алгоритм **UZ_ING** из [1]. Эта функция анализирует все модели построения слов английского языка из [5] и находит из них соответствующую модель относительно предложения, заданного на узбекском языке.

Алгоритм, реализованный в функции UzbekIngliz ($T3_{i1}$) приведен ниже:

1. Назначения слов из T3i1 загрузить в E8k.
2. По структуре предложения из E8k га найти соответствующее предложение из ET2k1.
3. Результаты передать выходным параметрам функции UzbekIngliz (T3i1).

Здесь $ET3_{k1}$ – модели предложения английского языка, соответствующие моделям предложений узбекского языка, $1 \leq k1 \leq m2$.

4.4. Алгоритмы по направлению перевода английский-узбекский:

1. Поиск каждого слова из L1j по Q1_eng. Если истина, то к шагу 2, иначе к шагу 4.
2. Определить из Q1_eng ID искомого слова на английском языке.
3. Найти из Q1_uz перевод корневого слова и перейти к шагу 7.
4. Поиск каждого слова из L1j по Q2_eng
5. Определить из Q2_eng ID искомого слова.
6. Найти из Q2_uz перевод производного слова.
7. Определить назначения слов и разместить их во множество T3i1.
8. Множество T3i1 передать к функции InglizUzbek (T3i1).
9. Результаты функции InglizUzbek (T3i1) разместить в EVIX.

Функция InglizUzbek($T3_{i1}$) выполняет алгоритм **ING_UZ** из [1]. Эта функция анализирует все модели построения слов узбекского языка из [5, 6] и находит из них соответствующую модель относительно предложения, заданного на английском языке.

Алгоритм, реализованный в функции InglizUzbek ($T3_{i1}$) приведен ниже:

1. Назначения слов из T3i1 загрузить в E8k.
2. По структуре предложения из E8k га найти соответствующее предложение из ET2k1.
3. Результаты передать выходным параметрам функции InglizUzbek (T3i1).

Здесь $ET4_{k1}$ – модели предложения узбекского языка, соответствующие моделям предложений английского языка, $1 \leq k1 \leq m2$.

4.5. Алгоритмы по направлению перевода английский-русский

1. Поиск каждого слова из L1j по Q1_eng. Если истина, то к шагу 2, иначе к шагу 4.
2. Определить из Q1_eng ID искомого слова на английском языке.
3. Найти из Q1_ru перевод корневого слова и перейти к шагу 7.
4. Поиск каждого слова из L1j по Q2_eng
5. Определить из Q2_eng ID искомого слова.
6. Найти из Q2_ru перевод производного слова.
7. Определить назначения слов и разместить их во множество T3i1.
8. Множество T3i1 передать к функции InglizRus(T3i1).
9. Результаты функции InglizRus(T3i1) разместить в EVIX.

Функция InglizRus($T3_{i1}$) выполняет алгоритм **ING_RU** из [1]. Эта функция анализирует все модели построения слов русского языка из [5] и находит из них соответствующую модель относительно предложения, заданного на английском языке.

Алгоритм, реализованный в функции InglizRus($T3_{i1}$) приведен ниже:

1. Назначения слов из T3i1 загрузить в E8k.
2. По структуре предложения из E8k га найти соответствующее предложение из ET2k1.
3. Результаты передать выходным параметрам функции InglizRus(T3i1).

Здесь $ET5_{k1}$ – модели предложения русского языка, соответствующие моделям предложений английского языка, $1 \leq k1 \leq m2$.

4.6. Алгоритмы по направлению перевода русский-английский

1. Поиск каждого слова из L1j по Q1_ru. Если истина, то к шагу 2, иначе к шагу 4.
2. Определить из Q1_ru ID искомого слова на английском языке.
3. Найти из Q1_eng перевод корневого слова и перейти к шагу 7.
4. Поиск каждого слова из L1j по Q2_ru.
5. Определить из Q2_ru ID искомого слова.
6. Найти из Q2_eng перевод производного слова.
7. Определить назначения слов и разместить их во множество T3i1.
8. Множество T3i1 передать к функции RusIngliz(T3i1).
9. Результаты функции RusIngliz(T3i1) разместить в EVIX.

Функция RusIngliz($T3_{i1}$) выполняет алгоритм **RU_ING** из [1]. Эта функция анализирует все модели построения слов английского языка из [5] и находит из них соответствующую модель относительно предложения, заданного на русском языке.

Алгоритм, реализованный в функции RusIngliz($T3_{i1}$) приведен ниже:

1. Назначения слов из T3i1 загрузить в E8k.
2. По структуре предложения из E8k га найти соответствующее предложение из ET2k1.
3. Результаты передать выходным параметрам функции RusIngliz(T3i1).

Здесь $ET6_{k1}$ – модели предложения английского языка, соответствующие моделям предложений русского языка, $1 \leq k1 \leq m2$.

5. Выводы

Описаны новые символы расширяемого входного языка и приведена укрупненная функциональная схема среды компьютерного переводчика. Изложены разработанные лингвистические модели по двум типам предложений трех языков и 12 алгоритмов по шести направлениям перевода в соответствии с технологией моделируемого компьютерного переводчика.

Список литературы

1. Ахмедова Х.И. Моделлашган компьютер таржимаси технологиясининг алгоритмлари. «Амалий математика ва информацион технологияларнинг долзарб муаммолари». Ал-Хоразмий-2014. Самарқанд, с. 39-45

2. Марчук Ю.Н. Новое в современном машинном переводе// Ученые записки Национального общества прикладной лингвистики № 1(1), 2013, с.74-81

3. Тузов В.А. Морфологический анализатор русского языка. //Вестник СПбГУ. Сер.1, 1996, вып. 3 (№15), с. 46-52.

4. Тузов В.А. Синтаксическая структура русского языка. //Вестник СПбГУ. Сер.1, 1997, вып.1 (№17), с. 15-23.

5. Хакимов М.Х. Технология многоязыкового моделируемого компьютерного переводчика. Монография, LAMBERT. Academie Publishing, 2019, 176 с.

6. Khakimov M. Processing of the Uzbek language by technology the multilanguage modeled computer interpreter. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology/Vol. 6, Issee 3, March 2019, p. 3619-3623

7. Хакимов М.Х. Способ формализации естественных языков с расширяемым входным языком. Министерство юстиции РУз, Официальный бюллетень №10 (258), 2022 г, с. 110-113. Патент на изобретение IAP 07121, 21.09.2022

УДК 536.71

ПРИМЕНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БАЗ ДАННЫХ О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ТЕХНИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ВЕЩЕСТВ
APPLICATION OF MOLECULAR MODELING TO PROVIDE DATABASES ON THERMODYNAMIC PROPERTIES OF TECHNICALLY IMPORTANT SUBSTANCES

Игорь Станиславович Александров[1,3], Борис Афанасьевич Григорьев[2,3,4], Елена Анатольевна Беркова[1], Анатолий Алексеевич Герасимов[1]
Igor S. Alexandrov[1,2], Boris A. Grigoriev[3,2], Elena A. Berkova[1], Anatoly A. Gerasimov[1]

[1]Калининградский государственный технический университет, Россия, Калининград
[1]Kaliningrad State Technical University, Russia, Kaliningrad
(e-mail: alexandrov_kgrd@mail.ru)
[2]Российская академия наук
[2]Russian Academy of Sciences
[3]Российская инженерная академия
[3]Russian Academy of Engineering
[4]Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Россия, Москва
[4]National University of Oil and Gas «Gubkin University», Russia, Moscow

Аннотация: Выполнено молекулярное моделирование методом Монте-Карло термодинамических свойств технически важного углеводорода - фторбензола. Проведено сравнение, полученных данных, с авторским уравнением состояния. Показана высокая точность и согласованность модельных данных с рассчитанными по уравнению состояния значениями.

Abstract: Monte Carlo molecular simulation of the thermodynamic properties of a technically important hydrocarbon, fluorobenzene, has been performed. The obtained data are compared with the author's equation of state. The high accuracy and consistency of the model data with the values calculated from the equation of state are shown.

Ключевые слова: молекулярное моделирование, уравнение состояния, свободная энергия.

Keywords: molecular simulation, equation of state, free energy.

В настоящее время термодинамические свойства технически важных веществ рассчитывают и хранят на основе фундаментальных уравнений состояния (ФУС). Однако, сокращение и трудоемкость экспериментальных исследований термодинамических свойств создает дефицит данных, необходимых для разработки подобных уравнений состояния. Восполнить дефицит экспериментальных данных возможно с помощью методов молекулярного моделирования, которые получили широкое распространение в связи с серьезным развитием компьютерное техники. Целью данной работы является моделирование термодинамических свойств фторбензола методом Монте-Карло и тестирование, полученных данных, посредством авторского фундаментального уравнения [1]. Фторбензол широко используется в промышленности при производстве полимеров, органических растворителей, лаков, красок, эмалей и т.д. Таким образом, он относится к технически важным веществам, для которых необходимо иметь надежные справочные данные о термодинамических свойствах в широком диапазоне температур и давлений.

Недостаточность экспериментального исследования свойств фторбензола в сверхкритической области параметров состояния дает возможность протестировать на данном веществе методику получения данных молекулярного моделирования, предложенную в [2]. Используемый метод базируется на формализме Люстига, предложенном им в [3]. В рамках этого подхода имеется возможность получать производные свободной энергии любого порядка (вплоть до третьего) относительно собственных переменных в процессе единого моделирования $A_{xy}^{r} = \partial^{x+y}\alpha^{r}(T,\rho)/\partial(1/T)^{x}/\partial\rho^{y}\cdot(1/T)^{x}/\rho^{y}$. Это позволяет рассчитывать любые термодинамические свойства как комбинацию этих производных, и, в последующем, использовать эту информацию для разработки ФУС. В данной работе методов Монте-Карло был получен массив производных свободной энергии $A_{00}^{r}, A_{10}^{r}, A_{01}^{r}, A_{20}^{r}, A_{11}^{r}, A_{02}^{r}$ для 16 состояний равномерно распределенных в однофазной области. Моделирование производилось с помощью пакета для молекулярного моделирования с открытым исходным кодом ms2 [4].

Для каждого состояния производилось моделирования для 216 молекул в течении 300 000 циклов методом Монте-Карло в каноническом NVT-ансамбле. Дальнодействующие взаимодействия суммировались методом, приведенным в [5]. Избыточная свободная энергия определялась методом вставки частиц Уидома [6]. В качестве силового поля был выбран оптимизированный потенциал TraPPE, предложенный Сипманом в [7]. Данный потенциал учитывает ван-дер-ваальсовские и кулоновские взаимодействия, и имеет вид

$$U(r_{ij}) = 4\varepsilon_{ij}\left[\left(\frac{\sigma_{ij}}{r_{ij}}\right)^{12} - \left(\frac{\sigma_{ij}}{r_{ij}}\right)^{6}\right] + \frac{q_i q_j}{4\pi\varepsilon_0 r_{ij}} \quad (1)$$

где r_{ij}, σ_{ij}, ε_{ij}, q_i, q_j, и ε_0 – это, соответственно, расстояние между сегментами взаимодействующих молекул, параметры потенциала Леннарда-Джонса, частичные заряды, а также проницаемость вакуума. Все указанные параметры приведены в таблице 1. Внутренние степени свободы не учитывались в виду компактности формы и небольшого размера молекулы.

Таблица 1. Параметры потенциала (1). Сигма и эпсилон представляют собой масштабный и энергетический параметр потенциала Леннарда-Джонса, соответственно. k_B – это постоянная Больцмана. Все координаты даны по главным осям относительно центра масс молекулы.

№	*Interation site*	*x, Å*	*y, Å*	*z, Å*	*σ, Å*	*ε/k_B*	*q, e*
1	X(aro)-C(aro)-X(aro)	0	1,199673	-1,127260	3,6	30,7	-0,063
2	X(aro)-C(aro)-X(aro)	0	0	-1,823895	3,6	30,7	-0,082
3	X(aro)-C(aro)-X(aro)	0	-1,199673	-1,127260	3,6	30,7	-0,063
4	X(aro)-C(aro)-X(aro)	0	-1,209947	0,259733	3,6	30,7	-0,110
5	X(aro)-C(aro)-X(aro)	0	0	0,924967	3,6	30,7	0,089
6	X(aro)-C(aro)-X(aro)	0	1,209947	0,259733	3,6	30,7	-0,110
7	H-C(aro)	0	2,138975	-1,664497	2,36	25,45	0,101
8	H-C(aro)	0	0	-2,905218	2,36	25,45	0,099
9	H-C(aro)	0	-2,138975	-1,664497	2,36	25,45	0,101
10	H-C(aro)	0	-2,132005	0,823668	2,36	25,45	0,101
11	H-C(aro)	0	2,132005	0,823668	2,36	25,45	0,101
12	F-C(aro)	0	0	2,265641	2,85	27,5	-0,164

Все производные, полученные в результате моделирования, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Производные избыточной свободной энергии по результатам молекулярного моделирования.

Плотность, моль/дм^3	Температура, К	A^r_{10}	A^r_{01}	A^r_{20}	A^r_{11}	A^r_{02}
0.01	650	-0.006051033	-0.002182438	-0.005366712	-0.005942404	-0.000579318
0.3	650	-0.17947468	-0.063543576	-0.158719258	-0.178913813	-0.013157031
6	650	-2.969605971	-0.300857096	-0.76553362	-2.978974381	1.887296044
8	650	-4.044550345	0.786553246	-0.78996235	-4.589294077	6.8711101
0.01	700	-0.005297215	-0.00177605	-0.004303079	-0.005205284	0.000087109
0.3	700	-0.15664859	-0.051727918	-0.1241715	-0.152740939	0.010237125
6	700	-2.705855252	-0.088751323	-0.664234915	-2.811089271	1.800605516
8	700	-3.700649324	1.105183857	-0.737814892	-4.152306734	7.40485322
0.01	750	-0.004680586	-0.001472672	-0.003486674	-0.004604001	0.000675072
0.3	750	-0.138716861	-0.041726104	-0.100659786	-0.136863492	0.005678609
6	750	-2.483768436	0.099382721	-0.589005752	-2.632965757	1.794678647
8	750	-3.405836071	1.388875719	-0.700689436	-3.805770119	7.459031172
0.01	800	-0.004165173	-0.001137243	-0.00285582	-0.00400439	0.000985076
0.3	800	-0.124257359	-0.033132454	-0.083752879	-0.122971347	0.001001195
6	800	-2.29365317	0.266399562	-0.538102404	-2.437927129	2.232287952
8	800	-3.150145834	1.623223468	-0.675430667	-3.505815051	7.307505348

Нижний индекс при A показывает частную производную по соответствующей переменной (приведенная температура или приведенная плотность, $\delta = \rho/\rho_c$; $\tau = T_c/T$; ρ_c, T_c – параметры приведения, в качестве которых приняты критические значения).

По значениям производных свободной энергии, представленных в таблице 2, были рассчитаны калорические свойства (изохорная и изобарная теплоемкости) по соотношениям

$$\frac{C_p}{R} = -\left(A^0_{20} + A^r_{20}\right) + \frac{\left(1 + A^r_{01} - A^r_{11}\right)^2}{1 + 2A^r_{01} + A^r_{02}} \tag{2}$$

$$\frac{C_v}{R} = -\left(A^0_{20} + A^r_{20}\right) \tag{3}$$

где верхний индекс «0» указывает на значение в идеально-газовом состоянии [1].

На рис. 1, рис. 2 представлены отклонения в изобарной и изохорной теплоемкостях, полученных из данных моделирования, от значений, рассчитанных по ФУС. Средние относительные отклонения (СОО) в изохорной и изобарной теплоемкостях составляют 0.456%, и 1.23%,

соответственно. Отклонения возрастают с ростом давлений и плотностей.

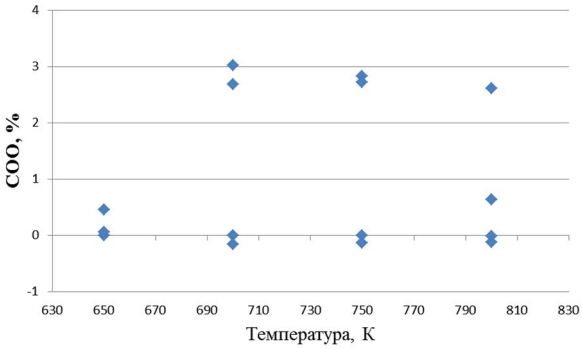


Рис. 1. Отклонения в изобарной теплоемкости, полученных из данных моделирования, от значений, рассчитанных по ФУС [1].

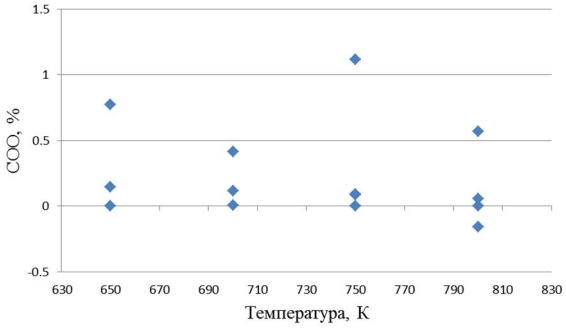


Рис. 2. Отклонения в изохорной теплоемкости, полученных из данных моделирования, от значений, рассчитанных по ФУС [1].

Выводы

Выполнено молекулярное моделирование термодинамических свойств галогенозамещённого углеводорода – фторбензола. Методом Монте-Карло получен массив данных о производных избыточной свободной энергии в сверхкритической области. На основе полученных производных рассчитаны значения изохорной и изобарной теплоёмкости и проведено сравнение с авторским уравнением состояния. Показана высокая точность описания указанных калорических свойств, близкая к точности описания прецизионных экспериментальных данных. Примененный подход может быть использован для восполнения пробелов в экспериментальных данных при разработке и корректировке фундаментальных уравнений состояния технически важных веществ с целью формирования баз данных о термодинамических свойствах.

Список литературы

1. Александров И.С., Герасимов А.А., Григорьев Б.А. Термодинамические свойства фторбензола в диапазоне температуры от тройной точки до 600 К и при давлениях до 60 МПа // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.17, № 24. С. 60-63.

2. Rutkai G., Thol M., Lustig R., Span R., Vrabec J. Fundamental equation of state correlation with hybrid data sets // The Journal of Chemical Physics. 2013. V. 139. P. 041102.

3. Lustig R., Direct molecular NVT simulation of the isobaric heat capacity, speed of sound and Joule–Thomson coefficient // Molecular Simulation. 2011. V. 37. P. 457–465.

4. Deublein S., Eckl B., Stoll J., Lishchuk S. V., Guevara-Carrion G., Glass C. W., Merker T., Bernreuther M., Hasse H., Vrabec J. ms2: A molecular simulation tool for thermodynamic properties // Computer Physics Communications. 2011. V. 182. P. 2350–2367.

5. Frenkel D., Smit B. Understanding Molecular Simulation: From Algorithms to Applications. San Diego: Academic Press, Elsevier, 2002.

6. Widom B. Some Topics in the Theory of Liquids //The Journal of Chemical Physics. 1963. V. 39. P. 2808–2812.

7. Neeraj R., Siepmann I. Transferable Potentials for Phase Equilibria. 10. Explicit-Hydrogen Description of Substituted Benzenes and Polycyclic Aromatic Compounds // J. Phys. Chem. B. 2013. V. 117. P. 273−288.

УДК 677.076.4

МОДИФИКАЦИЯ НЕТКАНЫХ СЕПАРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЩЕЛОЧНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ
MODIFICATION OF NON-WOVEN SEPARATION MATERIALS FOR ALKALINE BATTERIES

Юлия Сергеевна Романова[1], Елена Сергеевна Бокова[1,2], Наталия Викторовна Евсюкова[1], Иван Юрьевич Филатов[3], Мария Андреевна Смульская[3]
Yulia S. Romanova[1], Elena S. Bokova[1,2], Natalia V. Evsyukova[1], Ivan Y. Filatov[3], Maria A. Smulskay[3]

[1]Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
[1]The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: romanova-ya@rguk.ru, esbokova@ya.ru, ev.natali@mail.ru)
[2]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[2]Russian Engineering Academy, Russia, Moscow
(e-mail: esbokova@ya.ru)
[3]ООО «Технологии электроформования», Russia, Moscow
[3]OOO "Electroforming Technologies", Russia, Moscow
(e-mail: fiu@electrospinning.ru)

Аннотация: Рассмотрена модификация нетканых материалов, полученных методов электроформования. Установлено влияние поверхностно-активных веществ на процесс получения волокон и их гидрофильность.

Abstract: The modification of nonwovens obtained by electroforming methods is considered. The effect of surfactants on the process of obtaining fibers and their hydrophilicity has been established.

Ключевые слова: электроформование волокон, сепарационные материалы, нетканые материалы, модификация, поверхностно-активные вещества.

Keywords: electroforming of fibers, separation materials, nonwovens, modification, surfactants.

Наиболее емким рынком потребления химических источников тока (ХИТ) является автомобильный, авиационный, железнодорожный транспорт, широкое развитие которого требует применения устройств с

высокими удельными характеристиками, надежностью и увеличенным сроком службы.

Одним из важных элементов ХИТ являются сепараторы – пористые материалы, разделяющие анод и катод, на которые в период всего срока эксплуатации воздействуют химически агрессивные среды, а также растворенный и газообразный кислород.

В качестве сепарационных материалов используются пленочные мембраны, жестких микропористых листы, а также нетканые полотна.

Основными направлениями совершенствования ХИТ являются уменьшение расстояния между электродами (до 0,1–0,2 мм), введение в материал и электролит добавок, снижающих электрическое сопротивление, а, в случае применения нетканых материалов, уменьшение диаметра волокон до 0,05–0,1 мм.

Среди методов производства нетканых сепараторов, наиболее перспективными является метод ЭФВ, который позволяет совмещать микро- и нановолокнистые слои и создавать композиционные материалы, структура которых предотвращает рост дендритов и продлевает срок работы аккумуляторных батарей.

В ранее опубликованной работе [1], в качестве основного полимера для производства сепарационных материалов для щелочных аккумуляторов методом ЭФВ был использован полисульфон, на примере которого было показано, что для снижения риска саморазряда аккумуляторов сепарационным материалам необходима дополнительная гидрофилизация.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния гидрофилизующих добавок на структуру и свойства сепарационных нетканых материалов, полученных методом электроформования.

В качестве основного полимера использован перхлорвинил (ПХВ). В качестве растворителей полимера – 1,2-Дихлорэтан и этиловый спирт. В качестве модифицирующих добавок поверхностно-активные вещества (ПАВ) различной природы: ОП-7 (неионогенный ПАВ - продукт обработки моно-и диалкилфенолов окисью этилена) и алкиларилсульфонат (ионогенный ПАВ–смесь алкиларилсульфокислот).

Нетканые материалы получали по технологии электроформования на установке капиллярного типа (ООО Технологии электроформования).

Процесс модификации заключался в непосредственном введении ПАВ в прядильные растворы, при этом теоретически его рассматривали с точки зрения возможных адсорбционных процессов, взяв за основу уравнение Гиббса (1).

$$\Gamma = -dG/dC \times C/RT \qquad (1)$$

где Г – адсорбция в моль^2/см^2; G – поверхностное натяжение, эрг/см^2, Д – газовая постоянная, эрг/моль град; Т – температура, К; С – концентрация вещества, моль/г.

Согласно (1), если растворенное вещество имеет поверхностное натяжение dG/dc< O↑, то адсорбция его является положительной и концентрация в поверхностном слое больше, чем в объеме. Для веществ dG/dc<O адсорбция растворенного вещества отрицательна, то есть адсорбция в объеме раствора больше, чем на поверхности.

На рис. 1 приведен механизм предполагаемого поведения модифицирующих добавок в процессе электроформования.

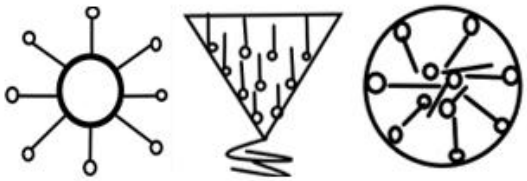


Рис. 1. Схема адсорбции молекул ПАВ из раствора на поверхности сухого волокна (а); ориентация в момент формования сухого волокна из раствора в электростатическом поле (б); адсорбция на сухом волокне после электроформования (с)

Под действием электростатического поля в ПАВ происходит переориентация его дифильных молекул. В процессе образовании жидкой нити и новой поверхности раздела, электростатическое поле вытягивает гидрофильную часть молекулы ПАВ на поверхность раздела фаз, а гидрофобная часть, имеющая большее сродство к гидрофобному полимеру и растворителям, остается в растворе. При интенсивном испарении растворителя гидрофобная часть ПАВ остается в сухом волокне и жестко фиксируется, а гидрофильная часть выходит на поверхность волокна, придавая ему гидрофильные свойства.

Очевидно, что гидрофильные свойства волокон будут зависеть от количества молекул ПАВ, закрепившихся на поверхности сухого волокна. В таблице 1 приведены теоретически рассчитанное количество ПАВ, которое необходимо для придания гидрофильности ПХВ волокнам диаметром 0,3; 1; 2 и 5 мкм. При проведении расчетов были учтены следующие допущения: геометрическая форма волокон представляет собой "цилиндр"; волокна имеют более развитую поверхность; часть

молекул ПАВ может остаться внутри волокна; площадь одной молекулы ПАВ $20(А)^2$=20-1 $10^{-20}м^2$.

Таблица 1. Расчетное количество молекул ПАВ для образования мономолекулярного слоя на поверхности волокон

Диаметр перхлорвиниловых волокон, мкм	Поверхность волокон из 1 г ПХВ, $м^2$	Масса ПАВ, для образования мономолекулярного слоя, г
5	0,5	0,0025
2	1,25	0,006
1	2,5	0,012
0,3	8,4	0,04

Следует отметить, что модифицирующие добавки, используемые для гидрофилизации и стабилизации волокон, помимо своего функционального назначения, должны удовлетворять технологическим требованиям, необходимым для реализации процесса ЭФВ и требованиям, предъявляемым к сепарационным материалам.

Из литературы [2, 3] известно, что полиэлектролит, в структуре которого содержится группа SO_3H, имеет самую высокую кинетику ионного обмена, низкое электрическое сопротивление и обеспечивают наилучшую смачиваемость гидрофобным нетканым материалам. Поверхностно-активное вещество ОП-7, имея высокое сродство к растворителям – дихлорэтану (ДХЭ) и этиловому спирту, хорошо с ними совмещается в любых отношениях. Поэтому, исходя из правила уравнения полярностей Ребиндера, можно предположить низкую его адсорбцию на ультратонком перхлорвиниловом волокне в процессе его формования. Алкиларилсульфонат не совместим с дихлорэтаном, но растворяется в этиловом спирте в любых отношениях. Только после растворения в этиловом спирте его можно ввести в ДХЭ. При этом, как установлено в работе, концентрация этилового спирта должна быть не ниже 5%, во избежание образованию коллоидного раствора.

Двумя важнейшими параметрами, от которых зависит стабильность процесса ЭФВ, являются поверхностное натяжение и электропроводность прядильного раствора. В таблицах 2, 3 приведены результаты определения этих параметров при использовании в качестве модификатора ПАВ ОП-7 (таблица 2) и алкиларилсульфоната (таблица 3).

Таблица 2. Влияние ПАВ ОП-7 на поверхностное натяжение и электропроводность ДХЭ

Содержание %		Поверхностное натяжение, $\times 10^{-3}$, Н/м	Электропроводность 1/Ом×м
ОП-7	ДХЭ		
0	100	33,8	$5{,}7\times 10^{-6}$
1	99	33,8	$5{,}0\times 10^{-4}$
2	98	33,8	$6{,}6\times 10^{-4}$
3	97	33,9	$9{,}1\times 10^{-4}$
4	96	33,9	$9{,}7\times 10^{-4}$
5	95	33,9	$1{,}1\times 10^{-3}$
6	94	34,0	$1{,}24\times 10^{-3}$

Таблица 3. Влияние алкиларилсульфоната на поверхностное натяжение и электропроводность ДХЭ - этиловый спирт

Содержание %		Поверхностное натяжение, $\times 10^{-3}$, Н/м	Электропроводность 1/Ом×м
Алкиларил-сульфонат	Этиловый спирт		
0	10	31,2	$1{,}5\times 10^{-3}$
0,1	9,9	31,2	$8{,}2\times 10^{-3}$
0,5	9,5	31,2	$9{,}3\times 10^{-3}$
1,0	9,0	31,1	$1{,}4\times 10^{-3}$
1,5	8,5	31,1	$4{,}6\times 10^{-3}$

Видно, что добавка ПАВ ОП-7 и алкиларилсульфонат не изменяют поверхностного натяжения раствора, но являются электролитами, повышающими электропроводность растворителей.

Параметры получения гидрофильных волокон были экспериментально определены в ООО «Технологии электроформования» на лабораторной установке с единичным капилляром. В качестве примера, в таблицах 4 и 5 приведены характеристики технологических растворов и параметры ЭФВ для получения гидрофильных волокон диаметром 5 мкм при модификации ПАВ ОП 7 (таблица 4) и алкиларилсульфонатом (таблица 5).

Таблица 4. Характеристики процесса получения волокон, модифицированных ОП7

Характеристика раствора					Объем раствора $см^3$/мин кап
ПХВ	ДХЭ	ОП 7	Вязкость Па× с	Электропроводность 1/Ом×м	
10	89	1	0,5	2×10^{-4}	6×10^{-3}
10	88	2	0,5	3×10^{-4}	6×10^{-3}
10	87	3	0,5	5×10^{-4}	6×10^{-3}
10	86	4	0,5	6×10^{-4}	6×10^{-3}
10	85	5	0,5	7×10^{-4}	6×10^{-3}

Следует отметить, что, в случае применения ОП 7, процесс прядения, вытягивания и сушки волокон, их перенос к осадительному электроду, а также формирование слоя нетканого материала протекало устойчиво, без каких- либо нарушений стабильности процесса ЭФВ.

Таблица 5. Характеристики процесса получения волокон, модифицированных алкиларилсульфонатом

Характеристика раствора						Объем раствора $см^3$/мин кап
ПХВ	ДХЭ	Этанол	Алкиларилсульфонат	Вязкость Па× с	Электропроводность 1/Ом×м	
10	89	6,3	0,1	0,42	4×10^{-4}	6×10^{-3}
10	88	6,3	0,2	0,42	5×10^{-4}	6×10^{-3}
10	87	6,3	0,3	0,42	6×10^{-4}	6×10^{-3}
10	86	6,3	0,4	0,42	7×10^{-4}	6×10^{-3}
10	85	6,3	0,5	0,42	8×10^{-4}	5×10^{-3}
10	84	6,3	0,6	0,42	9×10^{-4}	5×10^{-3}
10	84	6.3	0,6	0,42	9×10^{-4}	2×10^{-3}
10	83	6,3	0,7	0,42	1×10^{-3}	2×10^{-3}

Материалы, полученные из растворов с добавкой 0,4–0,5 алкиларилсульфоната, имели равномерную, гладкую структуру, без уплотнений и просветов. При этом установлено, что из растворов с содержанием алкиларилсульфоната 0,6–0,7% при подаче через капилляр раствора объемом 5×10^{-3} $см^3$/с происходит нарушение процесса прядения.

В таблицах 6, 7 приведены результаты влияния исследуемых добавок на гидрофильность полученных нетканых материалов.

Таблица 6. Характеристики материалов, гидрофилизованных ОП-7

Характеристика раствора			Характеристики материала		
Перхлорвинил	ДХЭ	ОП 7	Щелочевпитываемость, %	Высота капиллярного поднятия, мм	Электросопротивление Ом×м
10	89	1	0	0	0,5
10	88	2	120	3	0,25
10	87	3	730	15	0,07
10	86	4	1400	20	0,04
10	85	5	1500	25	0,035

Таблица 7. Характеристики материалов, гидрофилизованных алкиларилсульфонатом

Характеристика раствора				Характеристики материала		
Перхлорвинил	ДХЭ	Этанол	Алкиларилсульфонат	Щелочевпитываемость, %	Высота капиллярного поднятия, мм	Электросопротивление Ом×м
10	89	6,3	0,1	0	0	0,5
10	88	6,3	0,2	120	20	0,25
10	87	6,3	0,3	730	30	0,07
10	86	6,3	0,4	1400	1100	0,04
10	85	6,3	0,5	1500	1400	0,035
10	84	6,3	0,6	нарушение процесса		
10	83	6,3	0,7	нарушение процесса		

Видно, что высокими показателями гидрофильности и низким электрическим сопротивлением в порах сепаратора по электролиту обладают материалы ФП, полученные из растворов с содержанием ПАВ ОП-7 не менее 4% и растворов, содержащих алкиларилсульфоната в количестве 0,4–0,5%

В целом очевидно, что в соответствии с правилом уравнения полярностей Ребиндера, ПАВ ОП-7, который имеет большее сродство к растворителю ДХЭ, необходимо вводить в 10 раз больше, чем ионогенного ПАВ алкиларилсульфоната, для того чтобы обеспечить перхлорвиниловым волокном одинаково высоких показателей гидрофильных свойств.

Выводы

Таким образом, в работе проведена модификация нетканых материалов на основе ПХВ, полученных методом электроформования, поверхностно-активными веществами. Обоснован механизм адсорбции

ионогенных групп алкиларилсульфоната на поверхности перхлорвинилового ультратонкого волокна в процессе формования из многокомпонентных растворов под действием электростатического поля.

Список литературы

1. Бокова Е.С., Романова Ю.С., Коваленко Г.М., Смульская М.А., Филатов И.Ю. Сравнительный анализ структуры и свойств нетканых сепарационных материалов для химических источников тока // Материаловедение, № 10. С. 12-17.

2. https://studfile.net/preview/5364604/page:26/

3. Буканова Е.Ф. Коллоидная химия ПАВ. Часть 1. Мицеллообразование в растворах ПАВ: МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2006

УДК 622: 53.06: 620.22: 669.17

ИННОВАЦИИ МОДИФИКАЦИИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ВЕЩЕСТВ И ЖИДКОСТЕЙ
INNOVATIONS MODIFICATIONS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIALS, SUBSTANCES AND LIQUIDS

Владимир Георгиевич Ивахник[1,2]
Vladimir. G. Ivakhnik, chl.- correspondent of RIA

[1]Научно-исследовательский технический университет (НИТУ «МИСиС»), Горный институт (ГИ), Россия, Москва
[1]National Research Technical University "MISiS", Mining Institute, Russia, Moscow
(e-mail: ivid1948@yandex.ru)
[2]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[2]Russian Engineering Academy, Russia, Moscow

*Аннотаци*я: Исследование и результаты влияния модификации физико-механических свойств материалов, веществ и жидкостей за счет применения в горнодобывающей и других отраслях промышленности технологии магнитно-импульсной обработки.

Abstract: Research and results of the influence of modification of physical and mechanical properties of materials, substances and liquids through the use of magnetic pulse processing technology in mining and other industries.

Ключевые слова: Импульсное электромагнитное воздействие, отрасли промышленности, модификация, материалы, вещества и жидкости, физико-механические свойства.

Keywords: Pulse electromagnetic influence, industries, modification, materials, substances and liquids, physical and mechanical properties.

Восстановление промышленного потенциала Донбасса, пострадавшего в результате военных и блокадных действии путчистского правительства Украины, после завершения агрессии будет опираться на научно-технический прогресс совершенствования производственной сферы, обеспечивающий эффективность производственных процессов в рыночных условиях экономики. Конкурентная способность промышленных предприятий Донбасса, безусловно, будет достигаться за счет привлечения инноваций технического профиля, направленных не

только на увеличение объемов производства, но и качественно новый конструктивно-технологический уровень. Предпочтение, очевидно, будут отдаваться нововведениям улучшения технологических свойств материалов, веществ и жидкостей, используемых в производственных процессов. Кроме того, будут востребованы инновации, формирующие качественно новые эксплуатационные характеристики готовой продукции.

Всем этим требованиям могут отвечать нововведения различных способов и устройств, изменяющих физико-механические свойства материалов, веществ и жидкостей, за счет магнитной обработки. Общеизвестные инновации в этой сфере находят применение во многих отраслях промышленности: металлургической, машиностроительной, горнодобывающей и т.д. Вместе с тем, особый интерес будет проявляться к многофункциональным инновациям, имеющим широкий диапазон режимов магнитного воздействия, который применим для использования в различных производственных процессах.

На X-той юбилейной международной научно-технической конференции «Горная энергомеханика и автоматика» (23-25 ноября, 2010, Украина, Донецк) была представлена информация об использовании явления электромагнитного поля для улучшения физико-механических свойств металлов, материалов и веществ, используемых в горных машинах и оборудовании [1]. По истечению значительного периода в исследованиях влияния электромагнитного воздействия на материалы, вещества и жидкости, можно отметить, что результаты, полученные на кафедре «Горного оборудования, транспорта и машиностроения» расширяют диапазон режимов магнитно-импульсной обработки (МИО), что положительно сказывается на масштабах применения этого метода.

Задачей работы является продолжение развития теории и практики применения технологии МИО. Целью данной работы является установление оптимальных режимов МИО при использовании компактного оборудования – мобильных магнитно-импульсных установках (МИУ), планируемых к применению на предприятиях Донбасса.

Вкратце целесообразно отметить, что возможность модификации физико-механических свойств материалов, веществ и жидкостей за счет применения МИО связана с тем, что коллоидные частицы ферромагнитного железа присутствуют практически в любом их состоянии [2]. В общем случае способ МИО (рис. 1) представляется следующим системным подходом:

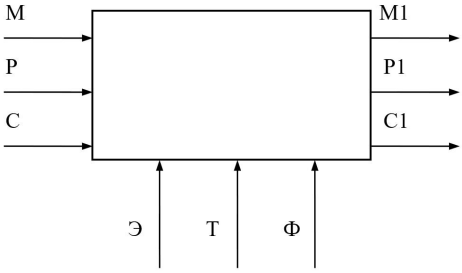


Рис. 1. Способ МИО где: входные параметры – материальный объект (М), его размеры (Р) и свойства (С); влияющие факторы – энергия воздействия (Э), продолжительность (Т) и форма импульса (Ф).

В процессе осуществления МИО различных объектов их размещают внутри кольцевого индуктора (соленоида). С генератора импульсных напряжений (ГИН) через выводы коммутации на соленоид периодически подается напряжение заданного импульса и формы. В результате генерации электромагнитных импульсов в ГИН с регулируемой частотой и амплитудой возникает переменное электромагнитное поле, формируемое необходимую микроструктуру объекта. Принципиальная схема МИО представлена на рис. 2.

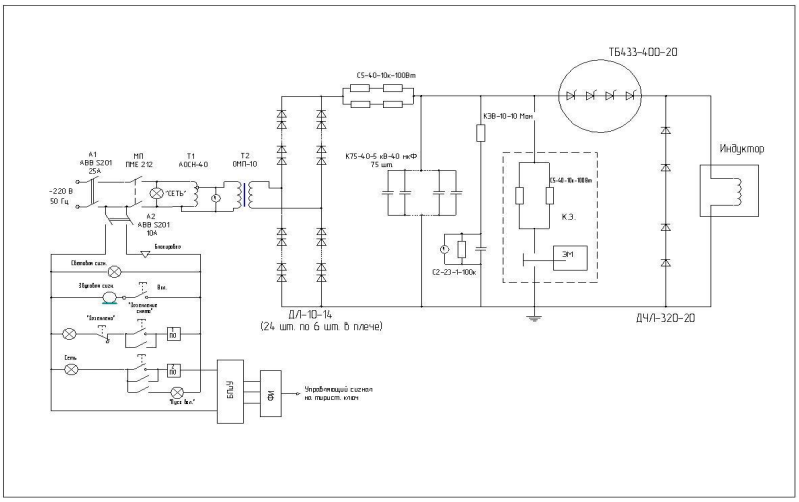


Рис. 2. Электрическая схема МИО.

Для использования МИУ на предприятиях с большими объемами выпускаемой продукции по циклично поточной технологии целесообразно применение непрерывной магнитно-импульсной обработки изделий. В этом случае установка дополнительно снабжается системой ин-

дукторов и следящими устройствами, обеспечивающими автоматическую подачу импульса энергии при поступлении обрабатываемого объекта в зону соленоидов. Кроме того, такие МИУ должны быть оснащены системой размагничивания, предназначенной для снятия остаточной намагниченности в изделиях, прошедших МИО. В тех случаях, когда остаточная намагниченность мешает дальнейшей нормальной эксплуатации оснастки (режущий инструмент, сверла и т.д.), деталей технологического оборудования металлургических заводов (прокатные валки и др.) или рабочего инструмента горных машин (резцы, буровой инструмент и т.д.). В целом, ряд конструкций индукционного инструментария МИО, как для стационарных МИУ, так и передвижных, представлен на рис. 2.

Рис. 3. Мобильная МИУ.

Экспериментальный образец мобильной МИУ, агрегатоносителем которой является автомобиль типа «Газель», планировался к использованию на шахтах: им. А.Ф.Засядько, «Бутовка – Донецкая» и др., а также в строительно-дорожных организациях, остро нуждающихся в решении проблемы повышения стойкости и надежности породоразрушающего инструмента и многих других элементов горного и строительного оборудования. Кроме того, наличие в Донбассе мобильной МИУ также предусматривало дальнейшее расширение номенклатуры объектов МИО. Так, к примеру, практическая реализация технологии МИО также рассматривалась для повышения износостойкости стальных канатов, в частности применительно к продукции Одесского и Харцызского и других канатных производств [3]. В результате исследований влияния МИО на канатную проволоку, поставленную фирмой «Рейн Рур», получена нижеследующая количественная оценка ее прочностных характеристик (Таблица 1).

Таблица 1. Результаты испытаний канатных проволок до и после МИО

Диаметр канатной прово-локи, мм	Режимы обработки	Разрывное напряжение, Н/мм^2	Количество перегибов проволоки	Количество скручива-ний
1,07	Исходное состояние	1854	26	45
	Режим МИО - 1	1851	24	49
	Режим МИО- 2	1845	26	56
	Режим МИО- 3	1889	26	55
3,55	Исходное состояние	1949	13	32
	Режим МИО - 1	1967	11	40
	Режим МИО- 2	1966	13	42
	Режим МИО- 3	1929	13	36
6,90	Исходное состояние	1688	15	32
	Режим МИО - 1	1676	15	34
	Режим МИО- 2	1681	13	36
	Режим МИО- 3	1670	13	40

Приведенные табличные данные свидетельствуют об изменении тонкой структуры металла после МИО, что может являться подтверждением изменений свойств канатной проволоки. При применении оптимальных режимов МИО можно обеспечить повышение прочностных свойств стальных канатов в 1,5 – 3 раза.

Опираясь на комплекс исследований, по воздействию мощными электромагнитными полями на различные тонкие структуры, в том числе соединения предельных и непредельных углеводородов, определенные перспективы связываются с применением способа обогащения топлива, в частности мазута, используемого на тепловых станциях и металлургических процессах [4].

В основу разработки положены результаты исследований по улучшению технологических свойств мазута путем улучшения его физико-химических свойств, за счет изменения структуры обрабатываемого мазута. Это достигается тем, что в способе обработки жидких углеродов путем воздействия на них магнитного поля, причем, обработку ведут импульсным магнитным полем, которое создается в соленоиде, охватывающем трубопровод с технологическим мазутом, либо в стержневом соленоиде, размещенным в мазутной емкости.

Рентгеновские исследования, проведенные по методике Института нефтехимического синтеза РАН, показали, что в результате МИО отмечены изменения обобщенного рентгеновского показателя. Полученные результаты исследования мазута до и после МИО приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристика мазута до и после МИО

№ п/п	Вид топлива	Влажность в %%	Теплота сгорания					
			$O^a_б$	$O^a_в$	$O^p_в$	$S^a_{общ}$	$H^г$	$O^p_н$
1.	Мазут до МИО	0,02	10206	10143	10145	2,35	10,07	9599
2.	Мазут после МИО (1 импульс)	0	10243	10170	10170	2,78	10,20	9619
3.	Мазут после МИО (2 им-пульса)	0,03	10294	10220	10223	2,86	10,76	9639

Как следует из приведенных данных, теплота сгорания мазута обработанного МИО увеличивается на 4,16%. Обработанный импульсным магнитным полем мазут обладает повышенной теплотой сгорания и светимостью факела, что позволяет снизить его расход на 5 – 10%.

Эффективное применение технологии МИУ-мазут планирует применение современных методов контроля процесса горения мазута, а также выбора оптимальных режимов подачи топлива к форсункам плавильных печей или котловых агрегатов. Методику измерений и программное сопровождение предполагается, направить на обеспечение контроля и учета расхода топлива, а также на получение и сохранение в неограниченный период время фактических данных об использовании мазута, включающие полную информацию о процессе его сгорания и эффективности теплотворной способности мазутного топлива после МИО.

Безусловно, что нормализация отношений с Украиной будет способствовать плодотворным контактам ученых и расширению областей внедрения многофункциональных инноваций, в первую очередь для ДНР и ЛНР, так как ранее планируемые этапы международной российско-украинской НТП предусматривали инновационные контакты с рядом НИИ и ВУЗами.

Выводы.

1. Многофункциональный способ и устройства МИО свидетельствуют об улучшении потребительских характеристик: материалов, веществ и жидкостей (сплавов металла, резинотехнических изделий, мазута, трансмиссионных масел и т.д.) в различных отраслях промышленности.

2. Технология МИО демонстрирует высокую производительность, превосходящую производительность большинства других процессов, направленных на модификацию физико-механических свойств материалов, веществ и жидкостей.

3. Применение МИО в различных производственных процессах характеризует низкую стоимость обработки материалов, веществ и жидкостей, благодаря ее малой длительности и существенно меньшей стоимостью установок, например по сравнению с лазерными установками.

4. Использование МИО в различных производственных процессах показывает большую глубину проработки материалов, веществ и жидкостей (обычно по всему прорабатываемому объему) при определенной простоте автоматизации процесса, значительно меньшей трудоемкости и экологической чистоте.

Список литературы

1. Ивахник В.Г. Исследование влияния электромагнитного поля для улучшения физико-механических свойств металлов, материалов и веществ / В.Г. Ивахник, В.Е. Курченко / Сб. Научные труды X-той юбилейной международной научно-технической конференции «Горная энергомеханика и автоматика» (23-25 ноября, 2010, Украина, Донецк), ДНТУ, 2010. – С. 50-61.

2. Ивахник В.Г. Инновации: Методологические и практические аспекты применения импульсных электромагнитных технологий /В.Г. Ивахник / Третий Международный Радиоэлектронный Форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспектива развития» (МРФ-2008) / Украина, Харьков, 2008. – С. 93-109.

3. Ивахник В.Г. Влияние электромагнитных воздействий на физико-механические свойства стальных канатов /В.Г. Ивахник, В.П. Ступников, К.И. Шахова / Сб. Научные труды Международной ассоциации исследователей стальных канатов / Украина, Одесса, Астропринт, №9, 2013, – С. 288- 293.

4. Ивахник В.Г. Совершенствование компоновочных схем к способу модификации мазутного топлива /В.Г. Ивахник / Научный вестник МГГУ/ №5, 2013. – С. 40-43.

УДК 621.793:620.199:001.18

СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ АРМИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ УГЛЕКОМПОЗИТНЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ С ДИАГНОСТИКОЙ ИХ КАЧЕСТВА И ОЦЕНКОЙ РЕСУРСА

CREATION OF AN INTEGRATED SYSTEM OF REINFORCING BUILDING STRUCTURES WITH CARBON COMPOSITE POLYMER MATERIALS WITH DIAGNOSTICS OF THEIR QUALITY AND RESOURCE EVALUATION

Михаил Юрьевич Федотов[1,2], Евгений Евгеньевич Шмойлов[3], Софья Олеговна Козельская[4,5]
Mikhail Yu. Fedotov[1,2], Evgeniy E. Shmoylov[3], Sofia O. Kozelskaya[4,5]

[1]Российская инженерная академия, Россия, г. Москва
[1]Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow
(e-mail: fedotovmyu@gmail.com)
[2]Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, г. Новосибирск
[2]Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Novosibirsk
[3]АО «Препрег – СКМ», Россия г. Москва
[3]JSC Prepreg-ACM, Russia, Moscow
[4]АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения», Россия, Московская обл., г. Хотьково
[4]JSC Central Research Institute of Special Machine Building, Russia, Moscow Region, Khotkovo
[5]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов
[5]Tambov State Technical University, Russia, Tambov

Аннотация: Решена важная строительная научно-техническая задача создания и широкого внедрения новых систем армирования строительных конструкций композитными материалами на основе углеродных волокон и полимерных матриц различной природы с диагностикой качества и ресурса.

Abstract: An important construction scientific and technical problem of creating and widespread implementation of new systems of reinforcing

building structures with composite materials based on carbon fibers and polymer matrices of various nature with diagnostics of quality and fatigue has been solved.

Ключевые слова: композитные материалы, армирование, строительные конструкции, диагностика качества.

Key words: composite materials, reinforcement, building structures, quality diagnostics.

В настоящее время в строительной отрасли эта задача решается путем применения традиционных металлических элементов армирования. Главными недостатками такого подхода являются значительное утяжеление конструкции, высокая стоимость, влияние агрессивных сред и коррозии на армирующие элементы, необходимость привлечения тяжеловесной строительной техники. Это приводит к большому экологическому и экономическому ущербу. По состоянию на 2023 г. по разным оценкам износ промышленных зданий, искусственных сооружений и объектов инфраструктуры составляет от 50 до 80% [1]. В современных условиях такое положение недопустимо.

В связи с этим, актуальны задачи создания новых систем армирования с оценкой качества конструкций и увеличения ресурса.

Основная научно-техническая идея

Создание новых углекомпозитных систем внешнего армирования, ремонта, диагностики качества и ресурса строительных конструкций по фактическому состоянию на основе новых теорий и методов создания строительных конструкций и материалов, диагностических методов термотомографии, оптического контроля, искусственного интеллекта на базе искусственных нейронных сетей.

Данная проблема решена путем разработки и внедрения в строительной отрасли:

– новых систем армирования конструкций полимерными композитными материалами на основе углеродных волокон и полимерных матриц различной природы;

– новых методов и средств неразрушающего контроля и диагностики качества конструкций с оценкой ресурса эксплуатации.

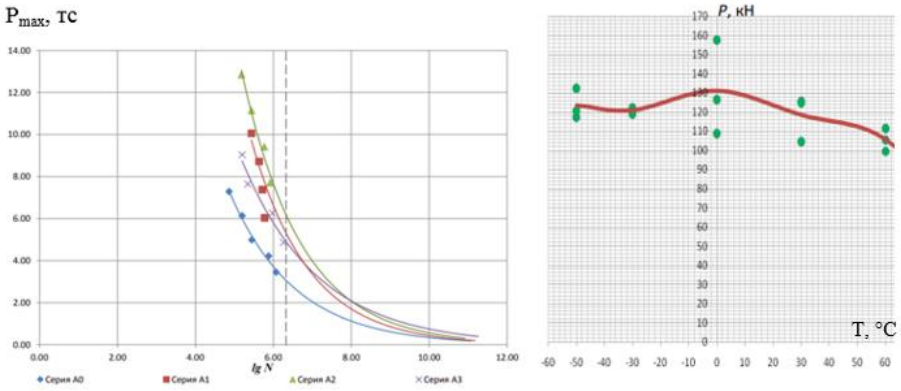
– системы технического регулирования применения технологий усиления и ремонта строительных конструкций углекомпозитными полимерными материалами (стандарты, регламенты, руководства, альбомы технических решений).

Для решения этих проблем разработаны научно-методические и практические основы создания новых систем армирования строитель-

ных конструкций углекомпозитными полимерными материалами на основе эпоксидных полимерных матриц холодного отверждения [0 – 0] с высокой адгезией к бетонным и металлическим поверхностям.

Разработано новое поколение углекомпозитных полимерных материалов, обеспечивающих одновременно высокие удельные прочностные свойства, весовую эффективность, устойчивость к агрессивным средам.

Теоретически разработаны и экспериментально обоснованы новые технологии усиления и ремонта строительных конструкций углекомпозитными полимерными материалами [0] (мосты, промышленные, административные, жилые здания, сооружения, объекты инфраструктуры) (Рис. 1 – 3).



а) б)

Рис. 1. Результаты исследований углекомпозитной системы армирования на: а) выносливость; б) действие положительных и отрицательных температур [0]

Из рисунка Рис 1 (а) видно, что усталостный ресурс конструкции с углекомпозитным армированием повышается минимум в 3 раза. Из рисунка Рис. 1 (б) видно, что усиление приводит к увеличению несущей способности образцов от 93 до 115% при температурах от минус 60°С до +60°С, что особенно важно для пустынных районов и районов Крайнего Севера России.

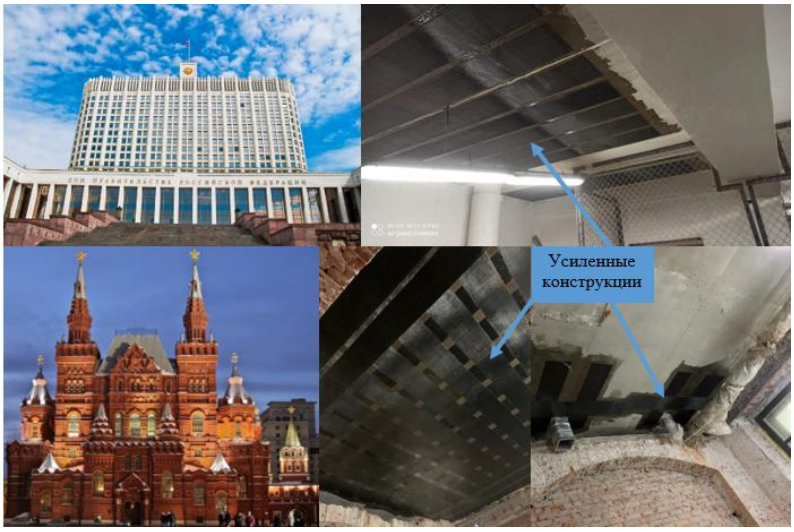


Рис. 2. Усиление железобетонных плит перекрытий: Дом Правительства РФ, Государственный исторический музей, г. Москва 2020 г.

Рис. 3. Усиление несущих конструкций: а) Международный центра бокса и самбо Лужники, г. Москва, 2020 г.; б) путепровод на ПК 3+60,725 ж/д пути Октябрьской железной дороги на 1273 км, Мурманская область, г. Кировск, 2021 г; в) путепровод в створе улицы Архангельской над железной дорогой, Вологодская область, г. Череповец, 2020 г.

Организовано производство систем армирования на основе углеродных волокон и эпоксидных связующих для усиления и ремонта строительных конструкций.

Внедрение новых материалов и технологий армирования невозможно без соответствующего и даже опережающего развития и внедрения новых перспективных технологий неразрушающего контроля, обеспечивающих достоверную оценку качества конструкций и их ресурс эксплуатации. Для решения этих задач разработаны теоретические основы и новые методы мониторинга и оперативной диагностики качества и ресурса строительных конструкций на основе ультразвуковой термотомографии, электросиловой термотомографии, оптического контроля напряженно-деформированного состояния волоконно-оптическими датчиками, искусственного интеллекта на базе искусственных нейронных сетей [0 – 0].

Значение результатов для практики

Применение новых углекомпозитных систем армирования и диагностики качества строительных конструкций позволило снизить стоимость ремонта на 15 – 30%, трудоемкость обслуживания на 20 – 30%, обеспечить контролируемую надежность эксплуатации не менее 25 лет в различных климатических зонах России.

Перспективы использования

С учетом существующего износа строительных конструкций и объектов инфраструктуры потенциальный объем рынка услуг по усилению, ремонту и диагностике строительных конструкций под ключ с целью продления ресурса эксплуатации является значительным.

Выводы

Разработана теория создания систем армирования для усиления и ремонта строительных конструкций углекомпозитными полимерными материалами на основе эпоксидных полимерных матриц холодного отверждения с высокой адгезией к бетонным и металлическим поверхностям.

Создано новое поколение углекомпозитных полимерных материалов, обеспечивающих одновременно высокие прочностные свойства, весовую эффективность, устойчивость к агрессивным средам.

Разработана теория диагностики качества и ресурса строительных конструкций на основе новых методов: ультразвуковой и электросиловой термотомографии, оптического контроля волоконно-оптическими датчиками, искусственного интеллекта на базе искусственных нейронных сетей.

Разработаны технологии усиления и ремонта ответственных строительных конструкций (промышленные, административные и жилые здания, мосты).

Список литературы

1. РЖД жалуется, что мосты в ее хозяйстве находятся в царском состоянии [Электронный ресурс.]: Электрон. текстовые, граф. дан. в формате *.html URL: https://www.vedomosti.ru/business/articles/2011/07/25/stoletnie_mosty (дата обращения: 24.01.2023 г.).

2. Патент № 2772286 C1 Российская Федерация, МПК C08L 63/02, C08G 59/56. Эпоксидная композиция холодного отверждения: № 2021115519: заявл. 31.05.2021: опубл. 18.05.2022 / Е.Е. Шмойлов, Л.В. Чурсова, Н.Н. Панина, Т.А. Гребенева; заявитель Акционерное общество «Препрег – Современные Композиционные материалы» (АО «Препрег – СКМ»).

3. Патент № 2706661 C1 Российская Федерация, МПК C08L 63/00, B32B 27/38. Эпоксидное связующее, препрег на его основе и изделие, выполненное из него: № 2019114163: заявл. 13.05.2019: опубл. 19.11.2019 / Е.Е. Шмойлов, Н.Н. Панина, Л.В. Чурсова, Е.И. Голиков; заявитель Акционерное общество «Препрег – Современные Композиционные материалы» (АО «Препрег – СКМ»).

4. Патент № 2688608 C1 Российская Федерация, МПК C08L 63/00, C08L 79/02, C08K 5/17. Эпоксидное связующее холодного отверждения для систем внешнего армирования: № 2018123955: заявл. 02.07.2018: опубл. 21.05.2019 / Е.Е. Шмойлов, Л.В. Чурсова, Д.И. Коган; заявитель Акционерное общество «Препрег – Современные Композиционные материалы» (АО «Препрег – СКМ»).

5. Внешнее армирование композитными материалами и оптический мониторинг надежности эксплуатации строительных сооружений (*Обзор*) / М.Ю. Федотов, О.Н. Будадин, С.О. Козельская [и др.] // Конструкции из композиционных материалов. – 2022. – № 1(165). – С. 57-67. – DOI 10.52190/2073-2562_2022_1_57.

6. Система внешнего армирования FibArm [Электронный ресурс.]: Электрон. текстовые, граф. дан. в формате *.html URL: https://scadsoft.com/download/2014Msk/6_Simakiv__Armirovanie_s_FibArm.pdf (дата обращения: 24.01.2023 г.).

7. Каледин В.О., Вячкина Е.А., Вячкин Е.С., Будадин О.Н., Козельская С.О. Применение ультразвуковой термотомографии и электросиловой термографии для тепловой дефектометрии малоразмерных дефектов сложных пространственных композитных конструкций // Дефектоскопия. – 2020. – №1. – С. 66–76.

8. Федотов М.Ю., Будадин О.Н., Козельская С.О. Развитие технологии оптического контроля конструкций из ПКМ волоконно-оптическими датчиками // Контроль. Диагностика – 2019 – № 10 – С. 26–35.

9. Акимов Д.А., Андреев А.С., Будадин О.Н., Козельская С.О., Котельников В. В. Применение глубинных нейронных сетей на основе паллиативного анализа в условиях неполной информации оптико-теплового и электрического неразрушающего контроля для прогнозирования предельного ресурса эксплуатации конструкций из композитных материалов // Контроль. Диагностика. – 2021. – Т. 24. – № 3. – С. 4–15.

УДК 677.074

БИОЦИДНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИКАТОРОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОСИЛИКАТОВ МЕТАЛЛОВ
BIOCIDAL COMPOSITE BINDERS USING MODIFIERS BASED ON METAL HYDROSILICATES

Анна Николаевна Гришина[1], Евгений Валерьевич Королев[2,3]
Anna N. Grishina[1], Evgenij V. Korolev[2,3]

[1]Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, Москва
[1]National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia, Moscow
(e-mail: GrishinaAN@mgsu.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering
[3]Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет – СПбГАСУ, Россия, Санкт-Петербург
[3]Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia, Saint Petersburg
(e-mail: prorector_nr@spbgasu.ru)

Аннотация: Представлены результаты исследования композиционных цементных камней, содержащих гидросиликаты цинка и меди, на стойкость к воздействию плесневых грибов рода Aspergillus. Показано, что применение гидросиликатов цинка и меди обеспечивает получение биоцидных композиционных вяжущих.

Abstract: The results of tests of composite cement stones containing zinc and copper hydrosilicates for resistance to mold fungi of the genus Aspergillus are presented. It is shown that the use of zinc and copper hydrosilicates provides the production of biocidal composite binders.

Ключевые слова: биостойкость, композиционные вяжущие, биобезопасность, активация биоцида.

Keywords: biostability, composite binders, biosafety, biocide activation.

Биобезопасность является одной из актуальных проблем в современном обществе. Это вызвано увеличением заболеваемости населения

болезнями, вызванными попаданием в организм человека микроорганизмов, особенно спор и продуктов жизнедеятельности плесневых грибов, первое место из которых занимают аспергиллы [1–3]. Лечение грибковых инфекций часто не проводится своевременно, что приводит к общему ухудшению самочувствия человека и осложнению течения болезни. Кроме негативного влияния на здоровье человека микроорганизмы активно воздействуют и на техносферу, в частности, эти же грибы являются так же основными деструкторами цементных бетонов [4–6].

Одной из эффективных мер борьбы с заболеваниями, вызванными проникновением грибов в организм человека, является профилактика заболеваний, которая может осуществляться снижением концентрации спор грибов и продуктов их жизнедеятельности в воздухе. Учитывая, что основным источником попадания спор в организм человека является их вдыхание, то уменьшение их концентрации в воздухе позволит снизить заболеваемость. Учитывая, что до 80% времени человек находится в помещениях зданий, то обеспечение биоцидности строительных материалов будет способствовать решению указанной задачи. Такой приём можно классифицировать как пассивный способ пролонгированного действия.

В современном строительном материаловедении распространён подход, направленный на сохранение свойств материалов при воздействии продуктов их жизнедеятельности – органических кислот. Очевидно, что в настоящее время такой способ должен быть расширен и включать подавление распространения мицелия грибов.

В этой связи, решение задачи обеспечения биобезопасности может заключаться во внедрении в строительные материалы биоцидных добавок, которые взаимодействуя с органическими кислотами, являющимися продуктами метаболизма грибов, будут выделять ионы биоцидных металлов, подавляющих их развитие. Это уменьшит количество продуцируемых органических кислот, что снизит их негативное воздействие на материал строительной конструкции. С позиции материаловедения для материалов с развитым открытым поровом пространством (к таким материалам относятся все строительные материалы на минеральных вяжущих веществах) важно сохранить как активность и длительность действия биоцидной добавки, так и объёмное распределение добавки в материале.

В строительном материаловедении используются различные модифицирующие добавки, обеспечивающие защиту материалов, однако их активность может снижаться во времени. Поэтому использование гидросиликатов биоцидных металлов, проявляющих активность при

воздействии кислоты, является способом обеспечения пролонгированных биоцидных свойств. Однако при этом установление химической стойкости материала в растворах кислот является классическим и необходимым способом оценки стойкости материала к воздействию биологического фактора эксплуатации (химическое связывание в нерастворимые соединения под воздействием внешних факторов и т.д.).

Оценка биоцидных свойств проводилась для наномодифицированных композиционных цементных камней, содержащих 10% от массы портландцемента гидросиликатов бария и биоцидный микроразмерный модификатор – 0,25; 0,5; 0,75 или 1% гидросиликатов меди или 0,5; 1; 2; 3; 5; 6% гидросиликатов цинка от массы портландцемента. В качестве наномодификатора использовался коллоидный раствор гидросиликатов цинка, полученный при $C(Fe(OH)_3) = 0{,}3\%$ и $\alpha = 1{,}0$ [7]. Определение стойкости к плесневым грибам проводили в соответствии с ГОСТ 9.048-89 «Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов».

Осмотр образов после заражения грибами Aspergillus ostianus, Aspergillus alliaceus и Aspergillius niger проводился на 30 и 90 сутки в соответствии с методами 1 и 3 ГОСТ 9.048-89 (таблица 1).

Таблица 1. Результаты испытаний искусственных цементных камней с биоцидными добавками

Вид и концентрация биоцидного модификатора	Баллы	
	Метод 1	Метод 3
Гидросиликаты меди, 0,25%	0/0/0	0/0/-
Гидросиликаты меди, 0,5%	0/0/0	0/0/-
Гидросиликаты меди, 0,75%	0/0/0	0/0/-
Гидросиликаты меди, 1%	0/0/0	0/0/-
Гидросиликаты цинка 0,5%	0/0/0	0/0/-
Гидросиликаты цинка 1%	0/0/0	0/0/-
Гидросиликаты цинка 2%	0/0/0	0/0/-
Гидросиликаты цинка 3%	0/0/0	0/0/-
Гидросиликаты цинка 5%	0/0/0	0/0/-
Гидросиликаты цинка 6%	0/0/0	0/0/-
Примечание. Результаты испытаний в баллах указаны в последовательности Aspergillus ostianus/Aspergillus alliaceus/Aspergillius niger.		

Анализ таблицы 1 свидетельствует об эффективности всех разработанных композиционных вяжущих для защиты от распространенных и опасных плесневых грибов.

Механизм активации биоцидного модификатора состоит в выделении ионов цинка или меди при его взаимодействии с органическими кислотами, являющимися продуктами их метаболизма. Для определения изменения концентрации ионов цинка и меди при воздействии кислот, выделяемых плесневыми грибами, были исследованы концентрации ионов меди и цинка в растворах при экспозиции гидросиликатов цинка и меди в количестве 1 г в 100 мл дистиллированной воды, 0,1% раствора щавелевой кислоты, 1% лимонной кислоты. Концентрации кислот были выбраны на основании данных о модельных системах [4]. Окраска водной вытяжки и вытяжек, приготовленных с использованием растворов кислот, различна (рис. 1): голубая окраска вытяжек, полученных с использованием кислот, свидетельствует о наличии в растворах ионов меди. Водные вытяжки бесцветны. Установлено, что в водной вытяжке определяются следовые количества ионов меди, а ионы цинка в воде не обнаружены. При воздействии раствора лимонной кислоты концентрация ионов Zn^{2+} составляет 0,034 моль/л, а ионов Cu^{2+} – 0,071 моль/л. В вытяжке, изготовленной с использованием раствора щавелевой кислоты, концентрация ионов Zn^{2+} составляет 0,005 моль/л, а ионов Cu^{2+} – 0,008 моль/л. Указанное свидетельствует об активации биоцидного модификатора под действием органических кислот, образующихся при метаболизме плесневых грибов.

а) б)

Рис. 1. Окраска растворов: а) окраска растворов, полученных при взаимодействии гидросиликатов меди с раствором щавелевой кислоты, лимонной кислоты и воды; б) качественная реакция на ионы меди в водной вытяжке и после взаимодействия с лимонной кислотой: 1 – отсутствие окрашивания (отсутствие ионов меди); 2 – образование сульфида меди (качественная реакция, подтверждающая наличие ионов меди в растворе)

Вывод

Экспериментально подтверждено, что гидросиликаты меди и цинка являются эффективными биоцидами и могут быть использованы в композиционном вяжущем для блокирования развития спор плесневых грибов рода Aspergillius. Показано, что при воздействии кислот происходит растворение модификатора с образованием ионов биоцидных металлов.

Список литературы

1. Силкина Т.А., Псеунова Д.Р., Янбухтина Э.Р. Грибковые инфекции – актуальность и возможности лабораторной диагностики // Лаборатория ЛПУ. 2014. №4. С. 56.

2. ВОЗ опубликовала первый в мире перечень опасных для здоровья грибков [Электронный ресурс] // Ведомственные новости 25 октября 2022 г. URL: https://www.who.int/ru/news/item/25-10-2022-who-releases-first-ever-list-of-health-threatening-fungi (дата обращения 30.10.2022).

3. Saber S.M., Youssef M.S., Arafa R.F., Hassane A.M.A. Mycotoxins production by Aspergillus ostianus Wehmer and using phytochemicals as control agent // Journal of Scientific and Engineering Research. 2016, 3(2). Pp. 198-213.

4. Строганов В.Ф., Куколева Д.А., Бараева Л.Р. Метод испытания минеральных строительных материалов на биостойкость в модельных агрессивных средах // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 17. С. 117-121.

5. Сидоров В.И., Никифорова Т.П., Доможилова Ю.В. Обеспечение биостойкости зданий и сооружений молочной промышленности // Вестник МГСУ. 2007. № 1. С. 157-159.

6. Ерофеев В.Т., Родин А.И. Биостойкость декоративных цементных композитов // Региональная архитектура и строительство. 2013. № 3. С. 32-38.

7. Гришина А.Н., Королев Е.В., Сатюков А.Б. Синтез и исследование устойчивости золей гидросиликатов бария // Строительные материалы. 2013. № 9. – С. 91-93.

УДК 330.163.12; 330.341.1; 331.103.226

К ВОПРОСУ О КОМАНДНОЙ РАБОТЕ В ЦИФРОВЫХ РЕАЛИЯХ ЭКОСИСТЕМЫ БИЗНЕС – ПРОЦЕССОВ «ИНДУСТРИИ 4.0»
ON THE ISSUE OF TEAMWORK IN THE DIGITAL REALITIES OF THE ECOSYSTEM OF BUSINESS PROCESSES «INDUSTRY 4.0»

Кузин Виктор Федорович[1], Лачинина Татьяна Александровна[1], Чистяков Максим Сергеевич[2]
Kuzin Viktor Fedorovich[1], Lachinina Tatiana Alexandrovna[1], Chistyakov Maxim Sergeevich[2]

[1]Российская инженерная академия
[1]Russian Engineering Academy
(e-mail: vfkuzin@mail.ru, t_lachinina@mail.ru)
[2]Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Центросоюза Российской Федерации «Российский университет кооперации», Владимирский филиал
[2]Autonomous non-profit educational organization of higher education of the Centrosoyuz of the Russian Federation «Russian University of Cooperation», Vladimir branch
(e-mail: m.s.chistyakov@ruc.su)

Аннотация. Рассматривается командообразование как системная мера в цифровых реалиях «Индустрии 4.0». Приводятся преимущества командной работы на платформе цифровых бизнес-процессов экосистем, а также негативные проявления и тенденции, свойственные переходу на «цифру». В качестве методологии данного исследования использовались синергетический и системный подходы обзорного исследования ранее опубликованных научно-исследовательских и обзорных работ по заявленной тематике.

Abstract. Team building is considered as a systemic measure in the digital realities of «Industry 4.0». The advantages of teamwork on the platform of digital business processes of ecosystems, as well as negative manifestations and trends inherent in the transition to «digital» are given. As the methodology of this study, the synergetic and systematic approaches of a review study of previously published research and review papers on the stated topic were used.

Ключевые слова: командообразование, «Индустрия 4.0», бизнес-экосистемы, распределенные команды, цифровые изменения.

Keywords: team building, Industry 4.0, business ecosystems, distributed teams, digital changes.

В условиях новой нормальности, своём стремлении преуспеть по всем конкурентным параметрам, планомерно и уверенно развивая успех деятельности, топ-менеджмент современных бизнес-экосистем акцентирует особо пристальное внимание процессам командообразования. В современной научной интерпретации Team-building (командообразование) – это процесс образования и успешного функционирования команды [1]. В ходе теоретического анализа, подкрепленного результатами полевого исследования, установлено, что команда представляет собой сплоченный, компетентный, высокомотивированный состав сотрудников организации, обладающий способностью к командной работе, имеющий общие цели и задачи и разделяющий ответственность за результаты совместной работы [2].

Наиболее широкое распространение тимбилдинга характерно для стран с так называемой развитой рыночной экономикой, что иллюстративно представлено на рис. 1.

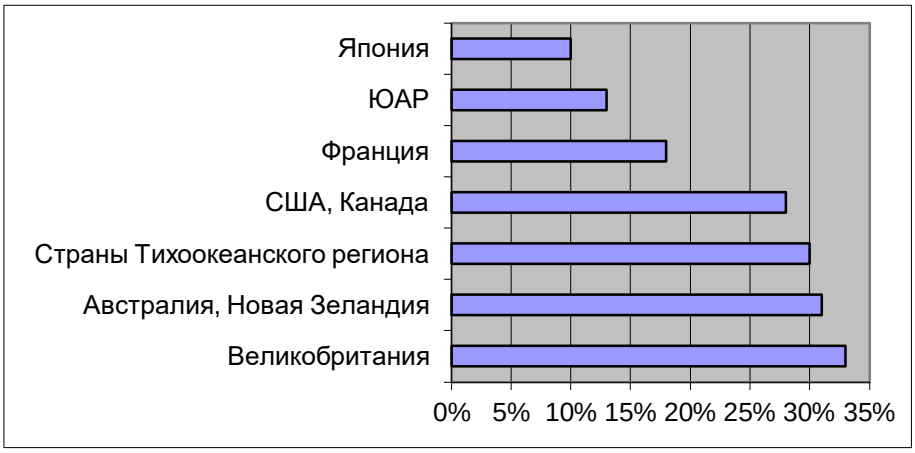


Рис. 1. Доля организаций (в %), где проводятся тренинги по приобретению навыков командной работы [3]

Современные реалии цивилизационного постиндустриального развития характеризуются интенсификацией воспроизводства благ посредством виртуализации и цифровизации. Кардинальные изменения мироустройства подразумевают изменение подхода научного переосмысления областей человеческой деятельности – в частности теории управления и теории командообразования [4]. В реалиях ускоряющихся

процессов нивелирования границ, все более возрастающей транспарентности экономической деятельности в планетарных масштабах, командообразование в условиях реалий «Индустрии 4.0» приобретает формат инструмента новых цифровых возможностей в организационном и пространственно-временном аспектах генерации бизнес-экосистем, эволюция которых катализировалась в эпоху коронавирусной реальности.

Само понятие «экосистема» деловое сообщество заимствовало из биологии. Термин введен в оборот британским ботаником Артуром Тэнсли в 30-х годах прошлого века. Идею подхватил бизнес-стратег Джеймс Мур в 90-е годы XX века, предложив воспринимать организацию не как самостоятельную единицу, а как одну из составляющих бизнес-экосистемы, включающую большое количество представителей из различный отраслей. Дж. Мур говорил следующее. «Как и биологический аналог, бизнес-экосистема постепенно переходит от случайного набора элементов к более структурированному сообществу».

Под цифровой бизнес-экосистемой (с англ. Business ecosystem) понимается совокупное множество собственных или партнерских сервисов, объединенных вокруг одной компании, самих бизнес-процессов на платформе единого интерфейса и каналов взаимодействия на принципиальном использовании стратегии «эффективной взаимозависимости (стратегии win-win) [5].

В контексте заявленной тематики коллективного исследования настоящей публикации под экосистемой будем понимать информационно-цифровую сеть неограниченного пространственного формата и жизненного цикла при определенных благоприятных обстоятельствах, но в сегментированном хронологическом диапазоне.

Под воздействием цифровизации видоизменяется и семантико-лексическое наполнение отдельных областей человеческого познания посредством ввода в оборот новых языковых единиц в теоретической и практической плоскости управления, например, *бесшовные организации*, *распределенные команды* [6], в которых ключевым элементом является взаимодействие на основе цифровых технологий, что формирует преимущество на основе синергии транспарентности и скорости распространения потоков информации, создающая специфику определенной экосистемности.

Генерируемая экосистемность бизнес-процессов на платформе новые цифровых технологий и подходов вносят ремарки в общепризнанный стереотип командной работы и в менеджменте. Так, привычный классический подход командообразования не тождественен по отношению к виртуальным командам. Цифровое бескрайнее пространство видоизменяет привычный устоявшийся образ члена команды, при этом

отметим, что данный так называемый новый *цифровой образ* подвержен постоянной трансформации в зависимости от новых тенденций цифровой эволюции.

Усиливается цифровая «цифровая связь» в команде, как и специалиста с предприятием, – обратно пропорционально с ослаблением взаимосвязи сотрудников с рабочим местом в реальном пространстве и времени. Синхронно возрастает производительность в команде на основе социально-виртуальных отношений [7], что повышает продуктивность и эффективность данного формата командной работы при наличии потенциала их дальнейшего роста.

Лидерство как категория в психологии командообразования также подвержена изменениям под формирующим воздействием цифровой экосистемы бизнес-процессов [8] и процессов управления в эпоху «Индустрии 4.0». Изменяется системообразующая роль лидерства, которое становится более гибким и транспарентным. Успешное лидерство в условиях экосистемы цифровых изменений предполагает обладание компетенциями, направленными на обеспечение эффективного функционирования командной работы в условиях поступательно нарастающих изменений условий внешнего и внутреннего средового фона. К таковым необходимо отнести: адаптивность лидера команды, резистентность к стресс-факторам, высокую степень эрудированности и осведомленности, быстрое принятие выверенных управленческих решений в целях воплощения запланированного и реагирования на изменения, искренняя личная удовлетворенность от успехов командной работы и ее членов и т.д. [9].

Однако, необходимо отметить и изменения, которым подвержена командная работа в новых онлайн реалиях цифровых экосистем, которые могут привнести отложенный отрицательный эффект в сплочение членов виртуальной (распределенной) команды [10].

1. Цифровой формат команды формирует виртуальный формат взаимодействия, лишенный чувства единства от «живого» общения и взаимодействия, напротив, генерируя восприятие коллеги в качестве обезличенной «информационной единицы» или «сетевого субъекта», подрывая тем самым эмоционально-психологическую компоненту «духа сплоченности» командообразования – необходимой составляющей эффективной работы;

2. Скрытые конфликтны, келейно возникающие и протекающие при виртуальном взаимодействии, способны заметно ингибировать эффективное выстраивание конструкции командного сплоченного сотрудничества. Виртуализация командной работы коренным образом транс-

формирует социально-психические процессы в коллективе. Они становятся более закрытыми и сегментированными, теряется чувство доверия, что и формирует благоприятную среду для порождения и разрастания скрытых конфликтных дисбалансов;

3. Утрата баланса в распределении времени на работу и отдых в условиях «вне офисного» пространства. Неэффективный отдых или его отсутствие сказывается на результатах проектной деятельности;

4. Информационная перегрузка – как следствие задействования различных устройств и программного продукта, обеспечивающих генерацию соответствующей виртуальной-сетевой среды, восполняющей отсутствие «прямого» взаимодействия сотрудников;

5. Повышение вероятности организационных изменений. Виртуальная команда, являясь «гибким» формированием, подвержена слияниям и поглощениям, влияниям новых технологий, конъюнктуры и тенденций. Тем не менее, синергия объединенных потенциалов и ресурсов способна привести к позитивной корректировке новых возможностей команды и конкурентных преимуществ [11].

Отдельного внимания требует рассмотрение виртуальных общностей распределенного командного пула и благоприятной среды для оппортунизма в качестве проявлений «цифровых социальных отношений» и экосистем бизнес-процессов, что подразумевает необходимость формирования менеджмента доверия. Озвученная тематика ввиду значительного объема необходимого анализа ранее опубликованных публикаций и изложения результатов потребует отдельного исследования вне рамок данной обзорной работы.

Список литературы

1. Лачинина Т.А. Team-building в организации [Электронный ресурс] // Экономика региона и управление: электрон. научный журнал № 1 (август-октябрь) / Владим. гос. университет. – 2005. – № государственной регистрации 0420700036, http://www.journal.vlsu.ru/index.php?id=263

2. Лачинина Т.А. Управление изменениями: командный подход: монография / Т.А. Лачинина; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010.

3. Хохлова Т.П. Team-Building как основа современных персонал-технологий // Управление персоналом. – январь 2005. – № 1-2 (109). – С. 64-66.

4. Макарченко М.А. Особенности виртуального командообразования в условиях цифровизации/Инновационные кластеры цифровой экономики: теория и практика Под редакцией

А.В. Бабкина. Санкт-Петербург: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2018. С. 370-395.

5. Кто и зачем создает цифровые экосистемы [Электронный ресурс]. URL: https://plus-one.ru/manual/2022/07/25/kto-izachem-sozdaet-cifrovye-ekosistemy#:~:text (01.10.2022)

6. Мирошниченко М.А., Сивинцева К.К., Тагирова В.Л. Бесшовная организация распределенных команд вне границ и времени в условиях цифровой трансформации // Вестник Академии знаний. 2021. № 2 (43). С. 154-158. DOI: 10.24412/2304-6139-2021-11056.

7. Абрамов В.Л. Интеллектуальные ресурсы конкурентоспособности современной организации // Открытое образование. 2015. № 2. С. 76-80.

8. Кнышов А.В., Золкин А.Л. Бизнес-анализ в управлении / Монография. – М.: Русайнс, 2022. – 86 с.

9. Алетдинова А.А., Кипришева А.И. Появление коллективной сетевой компетенции при цифровой трансформации экономики // Вестник Сибирского университета потребкооперации. 2017. № 3. С. 20-24.

10. Проектные сервисы. 10 проблем распределенных команд [Электронный ресурс]. URL:https://www.pmservices.ru/project-management-news/10-problem-raspredelennyx-komand/ (15.10.2022).

11. Чистяков М.С. Стратегия слияний и поглощений в нивелировании негативного воздействия факторов внешней среды на деятельность бизнеса // материалы межрегиональной научно-практической конференции «Современные тенденции развития менеджмента и государственного управления». – Орёл: Изд-во ОФ РАНХиГС, 2016. - С. 258-259. ISBN: 978-5-93179-447-1.

УДК 517.946

РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ НА СЕМЕЙСТВЕ ПОЛУОКРУЖНОСТЕЙ
REGULARIZATION OF THE PROBLEM OF INTEGRAL GEOMETRY ON FAMILIES OF SEMICIRCLES

Ниетбай Утеулиевич Утеулиев[1,2], Гафур Муратбаевич Джайков[3]
Nietbay U. Uteuliev[1,2], Gafur M. Djaykov[3]

[1]Нукусский филиал Ташкентского университета информационных технологий – НФ ТУИТ им. Мухаммада ал-Хоразмий, Узбекистан, Нукус
[1]Nukus branch of the Tashkent University of Information Technologies – NB TUIT afterMuhammad Al-Khwarizmi, Uzbekistan, Nukus
(e-mail: utewlievn@mail.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering
[3]Ташкентский университет информационных технологий им. Мухаммада ал-Хоразми Узбекистан, Нукус
[3]Tashkent University of Information Technologies, Uzbekistan, Nukus
(e-mail: gafur_djaykov@mail.ru)

Аннотация: Рассматривается задача восстановления внутренних структур объектов по ее интегральным данным на семействе полуокружностей. Построен устойчивый алгоритм восстановления по её интегральным характеристикам на основе регуляризации Тихонова.

Abstract: We consider the problem of restoring the internal structures of objects from its integral data on a family of semicircles. A stable recovery algorithm based on its integral characteristics based on Tikhonov's regularization is constructed.

Ключевые слова: некорректные задачи, регуляризация, задачи интегральной геометрии, устойчивый алгоритм.

Keywords: ill-posed problems, regularization, integral geometry problems, stable algorithm.

Задачи интегральной геометрии возникают в разных областях науки и техники. К задачам интегральной геометрии сводятся многие прикладные задачи, в частности задачи интерпретации сейсмических

данных [1, 2], просвечиваний физических сред и медицинской томографии [3, 4].

Сферическое преобразование Радона, которое является основным объектом этой статьи, возникает в нескольких приложениях, в том числе, недавно развивающиеся термоакустической и фотоакустической томографии [5].

В работе [6] рассматриваются слабо некорректные задачи интегральной геометрии на плоскости, состоящие в определении функции двух переменных по известным интегралам от искомой функции по семейству парабол весовой функции $g(x,\xi) = sgn(x-\xi)$ и $g(x,\xi) = |x-\xi|$. Получены оценки устойчивости, доказана теорема единственности. В статье [7] изучена задача интегральной геометрии вольтерровского типа по семейству парабол с весовой функцией, имеющей особенность. Задачи интегральной геометрии для других весовых функций можно найти в работах [8-11].

Обозначим $L_H = \{(x,y): x \in R^1, 0 \le y \le H\}$.

Постановка задачи. Рассмотрим в полосе L_H восстановление функции двух переменных $u(x,y)$, если известны интегралы от нее по кривым семейства $\{\Upsilon_1(x,y)\}$

$$\int\limits_{\Upsilon_1(x,y)} u(\xi,\eta)\,d\xi = f(x,y) \tag{1}$$

где произвольная кривая семейства представлена выражением

$$\Upsilon_1(x,y) = \left\{(\xi,\eta):(x-\xi)^2+\eta^2 = y^2, 0 \le \eta \le y \le H\right\}.$$

Уравнение (1) запишем, как и ранее, в виде

$$\int\limits_0^y \left(u(x-h,\eta)+u(x+h,\eta)\right)\frac{\eta}{h}\,d\eta = f(x,y) \tag{2}$$

где $h = \sqrt{y^2-\eta^2}$.

Теперь применим к обеим частям уравнения (2) преобразование Фурье по переменной x.

$$2\int\limits_0^y \hat{u}(\lambda,\eta)\cos(\lambda h)\cdot\frac{\eta}{h}\,d\eta = \hat{f}(\lambda,y) \tag{3}$$

Подействуем на (3) вольтеровским оператором с ядром

$$\frac{\eta ch\left(\lambda\sqrt{y^2-\eta^2}\right)}{\sqrt{y^2-\eta^2}}$$

Получим уравнение:

$$\int_0^y \frac{\eta ch\left(\lambda\sqrt{y^2-\eta^2}\right)}{\sqrt{y^2-\eta^2}}\cdot \hat{f}\left(\lambda,\eta\right)d\eta = 2\int_0^y t\hat{u}\left(\lambda,t\right)\cdot K_1\left(\lambda,y,t\right)dt \qquad (4)$$

где

$$K_1\left(\lambda,y,t\right)=\int_0^1 \frac{ch\left(\lambda\sqrt{y^2-t^2}\sqrt{1-s^2}\right)\cos\left(\lambda\sqrt{y^2-t^2}s\right)}{\sqrt{1-s^2}}ds$$

Учитывая выражение для табличного интеграла, получаем, что ядро K_1

$$\int_0^1 \frac{ch\left(\lambda\sqrt{y^2-t^2}\sqrt{1-s^2}\right)\cos\left(\lambda\sqrt{y^2-t^2}s\right)}{\sqrt{1-s^2}}ds=\frac{\pi}{2}$$

С учетом этого равенства перепишем (4) в виде

$$\pi\int_0^y \eta\hat{u}\left(\lambda,\eta\right)d\eta=\int_0^y \frac{\eta ch\left(\lambda\sqrt{y^2-\eta^2}\right)}{\sqrt{y^2-\eta^2}}\cdot \hat{f}\left(\lambda,\eta\right)d\eta$$

Продифференцировав обе части последнего уравнения, приходим к выражению:

$$\hat{u}\left(\lambda,y\right)=\frac{1}{\pi y}\frac{\partial}{\partial y}\int_0^y \frac{\eta ch\left(\lambda\sqrt{y^2-\eta^2}\right)}{\sqrt{y^2-\eta^2}}\cdot \hat{f}\left(\lambda,\eta\right)d\eta \qquad (5)$$

К последнему уравнению не применимо обратное преобразование Фурье из-за возрастания ядра $ch\left(\lambda\sqrt{y^2-\eta^2}\right)$ то есть, не обладает свойством устойчивости [12]. Чтобы строить устойчивое приближенное решение с помощью обратного преобразования Фурье, умножаем $ch\left(\lambda\sqrt{y^2-\eta^2}\right)$ на соответствующий множитель

$$T(\lambda,\alpha)=\frac{ch^2\left(\lambda\sqrt{y^2-\eta^2}\right)}{ch^2\left(\lambda\sqrt{y^2-\eta^2}\right)+\alpha\left(1+\lambda^2\right)}$$

Тогда получим класс регуляризирующих операторов для уравнения (5) в виде

$$u_\alpha(x,y)=\frac{1}{\pi y}\frac{\partial}{\partial y}\int_0^y\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{T(\lambda,\alpha)\eta\,\hat{f}(\lambda,\eta)e^{-i\lambda x}}{\sqrt{y^2-\eta^2}}d\lambda d\eta \qquad (5)$$

где $\alpha>0-$ параметр регуляризации.

Для численного эксперимента введем равномерные сетки по x,y, $x\in[-a,a], y\in[c,d]$. $x_k=-a+kh_x,\ y_j=c+jh_y$, где $h_x=\frac{2a}{n_x}, h_y=\frac{d-c}{n_y}$.

Дискретное преобразование Фурье для функции $f(x_i,\cdot)$ определим по формуле

$$\hat{f}(\lambda_m,\cdot)=\sum_{k=0}^{n_x-1}f(x_k,\cdot)e^{i\lambda_m x}=\sum_{k=0}^{n_x-1}f(x_k,\cdot)e^{i2\pi km/n_x},\ m=0,1,...,\mathrm{n}_x-1$$

здесь $\lambda_m=m\Delta\lambda,\ \Delta\lambda=\frac{2\pi}{T}$.

Обратное дискретное преобразование Фурье

$$f(x_k,\cdot)=\sum_{m=0}^{n_x-1}\hat{f}(\lambda_m,\cdot)e^{-i2\pi km/n_x},\ k=0,1,...,\mathrm{n}_x-1$$

С учетом вышеуказанных перепишем формулу обращения в следующей форме:

$$u_{\alpha_2}(x_k,y_j)=\frac{1}{\pi y}\frac{\partial}{\partial y}\int_0^{y_j}\frac{T(x_k,\mathrm{y}_j,\eta)d\eta}{\sqrt{y_j^2-\eta^2}} \qquad (6)$$

где

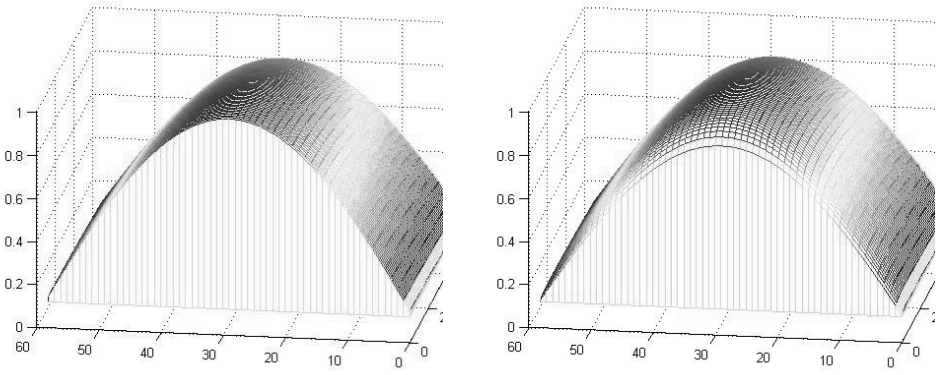
$$T(x_k,\mathrm{y}_j,\eta)=\int_{-a}^{+a}\frac{ch^2\left(\lambda\sqrt{y_j^2-\eta^2}\right)\eta\,\hat{f}(\lambda,\eta)e^{-i\lambda x_k}}{ch^2\left(\lambda\sqrt{y_j^2-\eta^2}\right)+\alpha\left(1+\lambda^2\right)}d\lambda$$

.

В качестве тестового примера используем следующую функцию

$$u(x,y)=\frac{\cos\left(\pi\left(x+\frac{1}{2}\right)\right)}{1+y^2}$$

Результаты эксперимента представим для $n_x = 64,\ n_y = 64$ точных правой части (рис. 1).



а) Точное решение б) приближенное решение при $\alpha = 10^{-4}$

Рис. 1. Результаты восстановления тестовой функции.

Выводы

Рассмотрена задача интегральной геометрии на семействе полуокружностей. Получена явная формула обращения для образа Фурье по первой переменной. В работе разработан устойчивый алгоритм на основе регуляризации Тихонова, который можно применить в термоакустической и фотоакустической томографии для подавления высокочастотных шумов.

Список литературы

1. Gorman A., Clowes R. Wave-field tau-p analysis for 2-D velocity models: application to western North American lithosphere. Geophysics Res Lett. 1999. V. 26. P. 2323-2326.

2. Wilson C.K., Guitton A. Teleseismic wavefield interpolation and signal extraction using high resolution linear radon transforms. Geophysics J Int. 2007. V. 168. P. 171–181.

3. Ambartsoumian G. Inversion of the V-line Radon transform in a disc and its applications in imaging. Computers and Mathematics with Applications. 2012. V. 64. P. 260–265.

4. Morvidone M., Nguyen M.K., Truong T.T., Zaidi H. On the V-line Radon transform and its imaging applications. Journal of Biomedical Imaging. 2010. V. 11. P. 1-6.

5. G. Ambartsoumian and P. Kuchment, On the injectivity of the circular Radon transform arising in thermoacoustic tomography. Inverse Problems. 2005. V. 21. P. 473–485.

6. Бегматов А.Х. Два класса слабо некорректных задач интегральной геометрии на плоскости // Сибирский математический журнал. 1995. Т. 36. № 2. С. 213-218.

7. Бегматов А.Х. О единственности решения задачи интегральной геометрии Вольтерровского типа // Доклады Академии Наук. 2009. Т. 427. № 4. С. 439-441.

8. Uteuliev N.U., Djaykov G.M., Yadgarov Sh.A. Modeling of Problem Reconstruction Function by its Integral Data on a Family of Circles. International Conference on Information Science and Communications Technologies: Applications, Trends and Opportunities. Tashkent. P. 1-4.

9. Begmatov A.H., Djaykov G.M. Numerical recovery of function in a strip from given integral data on linear manifolds. International forum on strategic technology. Conference proceedings. Part 1. Novosibirsk, 2016. P. 478–483.

10. N.U. Uteuliev, G.M. Djaykov, A.K. Seidullev. Inversion formula for the problem of integral geometry on families of parabolas. AIP Conference Proceedings. July 2021. 2365(1):070004.

11. Бегматов А.Х., Джайков Г.М. О восстановлении функции по сферическим средним // Доклады АН ВШ РФ. 2013. Т. 1. № 20. С. 6-16.

12. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. Москва: Наука, 1979. 284 с.

УДК 621.311.22

О ВЫБРОСАХ ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРУ Г. МОСКВЫ
ABOUT WATER VAPOR EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERE OF MOSCOW

Ринат Еявмянович Такташев[1,2], Наталия Андреевна Татарникова[2], Валерия Андреевна Варигина[2]
Rinat N. Taktashev[1,2], Nataliya A. Tatarnikova[2], Valeriya A. Varigina

[1]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[1]Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow
(e-mail: taktashev@mail.ru)
[2]Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический институт
[2] All-Russia thermal engineering institute
(e-mail: rntaktashev@vti.ru, natatarnikova@vti.ru, vavarigina@vti.ru)

Аннотация: Рассмотрены некоторые аспекты эксплуатации градирен ТЭЦ г. Москвы, приведены результаты расчетного исследования выбросов водяного пара в атмосферу г. Москвы и их сопоставление с естественным испарением с поверхности земли.

Abstract: Some aspects of the operation of the cooling towers of the CHPP of Moscow are considered, the results of a calculated study of water vapor emissions into the atmosphere of Moscow and their comparison with natural evaporation from the earth's surface are presented.

Ключевые слова: ТЭЦ, градирни, парниковые газы, естественное испарение.

Keywords: Thermal power plants, cooling towers, greenhouse gases, natural evaporation.

Согласно второму закону термодинамики для функционирования любых циклов из них необходимо отводить энергию. Тепловые электростанции, являющиеся основой электроэнергетики, в основной своей массе построены на основе использования термодинамического цикла Ренкина, в котором тепло в цикл подводится в результате сжигания органического топлива или распада изотопов урана, а отводится тепло в конденсаторах паровых турбин, где охлаждающей средой является вода. В прямоточных системах технического водоснабжения используется вода непосредственно из естественного водоёма, а в оборотных системах – вода циркулирует в системе. В энергосистеме ПАО

«Мосэнерго» прямоточные системы технического водоснабжения (СТВС) имеют ГЭС-1, ТЭЦ-9 и ТЭЦ-12 (ТЭЦ-12 имеет в своём составе также сухую градирню энергоблока ПГУ-220Т). Остальные электростанции, расположенные в черте г. Москвы или непосредственно примыкающие к ней, имеют оборотные СТВС с башенными и вентиляторными испарительными градирнями. В ПАО «Мосэнерго» применяются испарительные градирни следующих типов:

1) БГ-1520 – 27 шт.;
2) БГ-1600 – 4 шт.;
3) БГ-2100 – 4 шт.;
4) БГ-3200 – 21 шт.;
5) Вентиляторные градирни SPIG в составе энергоблоков ПГУ – 6 шт.

Как известно, в башенных и вентиляторных градирнях низкопотенциальное тепло из цикла отводится в атмосферу посредством испарения воды. Согласно [1] масса водяного пара, отводимого из градирен, зависит от перепада температур на охладителе, расхода охлаждаемой воды и температуры окружающей среды.

Согласно [1] массовый расход $G_{\text{исп}}$ испаряемой воды за 1 час определяется по формуле в зависимости от климатических условий (температуры и относительной влажности воздуха):

$$G_{\text{исп}} = G_{\text{вх}} \cdot \Delta t \cdot k_{\text{и}}, \quad (1)$$

где $G_{\text{вх}}$ – объем циркуляционной воды, м^3/ч; $k_{\text{и}}$ – коэффициент, учитывающий долю теплоотдачи испарением в общей теплоотдаче, принимаемый в зависимости от температуры наружного воздуха по сухому термометру по графику, представленному на рис. 1 (график составлен по данным результатов натурных исследований 26 башенных градирен); Δt – перепад температуры воды, определяемый как разность температур воды, поступающей в градирню и охлажденной воды, °С.

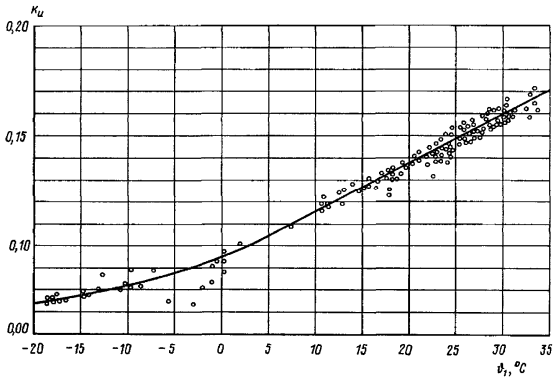


Рис. 1. График зависимости коэффициента $k_и$ от температуры воздуха по сухому термометру

В таблице 1 приведены значения среднемноголетней температуры воздуха для г. Москвы согласно [2].

Таблица 1. Среднемноголетняя температура воздуха г. Москвы по месяцам

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура, °С	-7,8	-6,9	-1,3	6,5	13,3	17,0	19,1	17,1	11,3	5,2	-0,8	-5,2

Эксплуатационные режимы работы градирен обычно таковы, что плотность орошения, являющаяся отношением расхода охлаждаемой воды к площади орошения (площади оросителя), составляет величину 5 – 7 м^3/(ч·м^2) в зависимости от времени года. В летний период при увеличении конденсационной выработки турбоагрегатов ТЭЦ она составляет 7 м^3/(ч·м^2), зимой снижается до 5 м^3/(ч·м^2). В расчёте принята средняя величина 6 м^3/(ч·м^2).

Температурный перепад в градирнях в зависимости от времени года для ТЭЦ ПАО «Мосэнерго» составляет величины: в период октябрь – апрель 5,2°С, в период май – сентябрь 7,0°С. В вентиляторных испарительных градирнях температурный перепад практически весь год сохраняется на уровне 10°С.

Таким образом, расчёты показывают, что при работе всех градирен в течение срока их эксплуатации выбросы водяного пара в атмосферу составят величину 58,55 млн. т/год.

Антропогенный фактор выбросов водяного пара включает в себя не только выбросы градирен, но и сжигание органического топлива на ТЭЦ и котельных, выбросы от сжигания моторного топлива. При сжи-

гании 22 000 млн. $м^3$/год природного газа в г.Москве (основные его потребители – ТЭЦ и котельные) выбросы водяного пара составляют величину 16,0 млн. т/год. Сжигание моторного топлива приводит к выбросам водяного пара порядка 12,0 млн. т/год.

В то же время согласно [2] количество испаренной влаги с поверхности г. Москвы влияет на климатические характеристики города и зависит от различных факторов. Естественное испарение влаги в атмосферу в среднем за год составляет величину 400-500 мм. Таким образом территория «центральной» части г. Москвы площадью 1081 $км^2$ имеет естественное испарение в количестве 515 млн. т/год.

Ранее специалисты НИУ «МЭИ» провели расчеты количества испаряемой влаги в год при работе градирен, сжигании топлива на ТЭЦ, котельных и автотранспортом [3], однако не провели сравнение количественных характеристик естественного испарения и антропогенных выбросов.

В данном исследовании получены данные о естественном испарении влаги и выявлены соотношения антропогенного прироста к естественным выбросам водяного пара с поверхности г. Москвы.

Таблица 2. Результаты расчетов

Источник выбросов	Кол-во выбросов водяного пара, млн. т/год
Природные объекты	515,0
Градирни	58,55
ТЭЦ и котельные	16,0
Автотранспорт	12,0
Итого	601,55

Из таблицы 2 следует, что практически 11,5% от естественного испарения с поверхности «центральной» г. Москвы составляют выбросы водяного пара с градирен ТЭЦ ПАО «Мосэнерго». Рассмотренное антропогенное влияние составляет 86,55 млн. т/год, что составляет 16,8%.

В заключение статьи следует отметить, что антропогенное влияние на атмосферу г. Москвы, как наиболее крупного мегаполиса Европы, значительно. При этом основными потребителями тепловой и электрической энергии в городе являются жилые и общественные здания, увеличение энерговооруженности которых провоцирует увеличе-

ние выработки, в первую очередь, электроэнергии, что приводит к увеличению выбросов водяного пара, являющегося основным парниковым газом на планете.

Выводы

Проведено расчётное исследование выбросов водяного пара от антропогенных источников г. Москвы – автомобильного транспорта, ТЭЦ и котельных. Развитием данной тематики является разработка способов снижения выбросов водяного пара. При этом в первую очередь необходимо исследовать возможности снижения выпара градирен, которые составляют величину более 58 млн. т/год (11,5% от величины естественного испарения).

Список литературы

1. ИТС 20-2016. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Промышленные системы охлаждения (утв. Приказом Росстандарта от 15.12.2016 № 1882).

2. СП 131.13339.2020 «Строительная климатология».

3. Гашо Е.Г., Гужов С.В., Белобородова А.С., Гукова Н.В. Влияние выбросов водяного пара от работы ТЭЦ, котельных и автотранспорта на локальные климатические изменения и климатическую адаптацию мегаполиса на примере Москвы. Надежность и безопасность энергетики. 2019.-Т. 11, №4. – С.8.

УДК 621, 436

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА МОБИЛЬНЫХ МАШИН В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА
INCREASING THE RESOURCE OF MOBILE MACHINES IN CONDITIONS OF HIGH AIR DUSTINESS

Сарвар Мукадырович Кадиров[1,2], Ойдин Сарваровна Кадирова[2]
S.M. Kadirov[1,2], O.S.Kadirova[2]

[1]Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан, Ташкент
[1]Tashkent State Transport University, Uzbekistan, Tashkent
[2]Международная Инженерная Академия
[2]International Academy of Engineering

Аннотация: Рассмотрены вопросы повышения ресурса двигателей мобильных машин, эксплуатируемые в условиях высоких температур и запыленности воздуха, имеющих недостаточный ресурс и ухудшенные эксплуатационные (энергетические, экономические, токсические и др.) показатели.

Abstract: The issues of increasing the resource of mobile machine's engines operated in conditions of high temperatures and air dustiness, having a low resource and degraded operational (energy, economic, toxic, etc.) indicators are considered.

Ключевые слова: двигатель, цилиндро-поршневая группа, сельхозмашины, износ, ресурс, высокая температура, запыленность, экономичность.

Keywords: engine, cylinder-piston group, agricultural machinery, wear, resource, high temperature, dust content, economy.

Обеспечение продовольственной безопасности является одним из важнейших условий социально-экономического развития каждой страны. Развитие сельского хозяйства в значительной степени связано с производительностью мобильных сельскохозяйственных машин, степень которой зависит от их уровня топливно-энергетических и ресурсных показателей.

Среднеазиатский регион имеет территорию 3,1 млн. кв. км и характеризуется жарким климатом, температура воздуха летом достигает +40° и выше, а суточный перепад составляет 25°. Влажность воздуха

редко превышает 20-30%. Температура воздуха в подкапотном пространстве достигает 90-100°С. Запыленность воздуха на уровне его забора двигателем колеблется от 1 до 5 г/м^3, что до 50 раз выше, чем в зонах с умеренным климатом. Все это отрицательно влияет на энергетические и экономические показатели двигателей. Установлено, что срок службы двигателей мобильных машин сокращается до 3 раз, а интенсивность изнашивания узлов трения возрастает от 2 до 8 раз; энергетические показатели ухудшаются до 22-25%, а эксплуатационный расход топлива повышается на 25% и более. Опыт эксплуатации мобильных машин показывает, что при разработке конструкции двигателей специфические особенности Среднеазиатского региона в достаточной степени не учитываются.

Все это свидетельствует о необходимости проведения расчетно-теоретических и экспериментальных исследований:

– исследовать причины ухудшения показателей работы автотракторных дизелей, преждевременного выхода их из строя, а также установить интенсивность, вид изнашивания и предельно-допустимые значения износа деталей цилиндро - поршневой группы (ЦПГ);

– разработать уточненные зависимости: эффективных и ресурсных показателей дизелей от технического состояния деталей ЦПГ в условиях эксплуатации.

Объектами исследований явились тракторные и автомобильные дизели производства АМЗ, ВТЗ и ЯМЗ.

В результате комплексных исследований установлены:

– характер и степень влияния высокой запыленности воздуха на топливно-энергетические и ресурсные показатели дизелей мобильных машин, обоснованы и разработаны методы оценки влияния на них технического состояния деталей ЦПГ;

– развита теория абразивного изнашивания пар трения ЦПГ, на основе которой разработаны методы расчета их деталей на износ с учётом характера взаимодействия абразивных частиц с поверхностями трения, воздействия эксплуатационных факторов, а также параметров работы двигателя;

– разработаны многофакторные математические модели зависимости величин износов деталей ЦПГ с учетом условий их работы, от размеров и концентрации абразивных частиц, исходного зазора и времени фрикционного взаимодействия.

Установлено, что к фильтрам, могут попадать частицы пыли размером от 1 до 50 мкм. Содержание пыли (кварца) достигает при пахоте на богарах – до 5 г/м^3; на орошаемых землях - до 3 г/м^3; при уборке хлопка – до 3,5 г/м^3.

Работа мобильных сельскохозяйственных машин в описанных условиях характеризуется существенным снижением их производительности, так как жаркий климат и высокая концентрация атмосферной пыли способствуют интенсификации износа сопряжений в двигателях от 2 до 8 раз. С увеличением зазоров в сопряжениях ЦПГ и ТПА энергетические и экономические показатели дизелей ухудшаются до 20 процентов и более. Ресурс дизелей сокращается до 3 раз. Наибольшему отказу подвержены детали топливоподающей аппаратуры (до 54%), а также ЦПГ и КШМ (до 27%).

Например, ресурс двигателей А-0IM в условиях богары составляет 1600 м/ч, а в условиях орошаемых земель – 2400 м/ч. Ресурс двигателей ЯМЗ в условиях городской езды составил около 300 тыс. км пробега, в карьерных условиях он значительно ниже.

В результате анализа макро-, микро- и субмикро структуры поверхностей трения деталей ЦПГ установлен вид изнашивания - абразивный, лимитирующий их срок службы.

В связи с этим в Среднеазиатском регионе очень остро стоит проблема повышения топливно-энергетических и ресурсных показателей дизелей мобильных машин.

Прогнозирование показателей автотракторных дизелей в зависимости от технического состояния деталей ЦПГ невозможно без разработки инженерных методов расчета их на износ. Анализ теоретических исследований в области абразивного изнашивания приводит к заключению, что до сих дер не установлены зависимости скорости изнашивания деталей ЦПГ с учетом силового взаимодействия абразивной частицы с поверхностями трения.

Среднее эффективное давление изношенного двигателя зависит от ряда параметров:

$$P\frac{u}{e} = f(q_u, \eta_i, \eta_m) .$$

Установлено, что цикловая подача топлива, индикаторный и механический КПД снижаются пропорционально степени изношенности деталей ЦПГ и ТПА.

На основании расчетно-теоретического анализа показателей работы изношенного двигателя предлагается оценивать по следующим соотношениям:

$$N_e^u = N_e^h \frac{\eta_i^u}{\eta_i^н}\frac{\eta_m^u}{\eta_m^н}\frac{q_ц^u}{q_ц^н}, \qquad (1)$$

индекс «н» относится к новому, а «и» – к изношенному двигателю.

Весьма актуальным в условиях эксплуатации является вопрос оценки остаточного ресурса двигателя. Нами предложен метод контроля остаточного ресурса Т деталей ЦПГ в зависимости от степени снижения эффективных показателей двигателя при этом (n = const) допускается пропорциональное ухудшение показателей двигателя от степени его изношенности.

$$\mathrm{T}_i = T\left(1 - \frac{N_{\mathrm{e}}^{\mathrm{н}} - N_e^t}{N_{\mathrm{e}}^{\mathrm{н}} - N_e^{\mathrm{пред}}}\right) = T(1 - \frac{P_c^{\mathrm{н}} - \mathrm{P}_{\mathrm{c}}^{\mathrm{т}}}{\mathrm{P}_{\mathrm{c}}^{\mathrm{н}} - \mathrm{P}_{\mathrm{c}}^{\mathrm{пред}}}), \qquad (2)$$

где $N_e^{\mathrm{н}}, N_e^{\mathrm{т}}, N_e^{\mathrm{пред}}$ – величины эффективной мощности нового, частично и предельно изношенного двигателей, кВт. Т – ресурс двигателя по нормативным документам, моточас.

Износ деталей ЦПГ (гильза, комплект колец, юбка поршня и канавки поршневых колец) происходит в основном, в результате поступления абразивных частиц через воздухоочиститель, с маслом и топливом.

При рассмотрении силового взаимодействия абразивной частицы с поверхностями трения кольца и гильзы делаются следующие допущения: процесс изнашивания происходит за все периоды цикла, но в тактах впуска и выпуска – пассивно; абразивные частицы смоделированы в виде овалоида.

Износ, производимый абразивными частицами, оценивается глубиной их внедрения в поверхность гильзы и кольца с учетом пути скольжения по поверхности последних (см. рис.1, б). Глубина внедрения зависит от размера абразивных частиц, действующих нагрузок на них со стороны кольца $\mathrm{P}_{\mathrm{к}}$ и механических свойств поверхностей трения (НВ).

Усилие Р, передаваемое через абразивные частицы на гильзу:

$$\mathrm{P} = \mathrm{P}_{\mathrm{к}} \pi Д_{\mathrm{ц}} \mathrm{в}_{\mathrm{к}} + \mathrm{P}_{\mathrm{у}} \qquad (3)$$

где $Д_{\mathrm{ц}}$ – диаметр цилиндра, м; $\mathrm{в}_{\mathrm{к}}$– высота кольца, м.

Зная величину силы давления на единичную абразивную частицу, можно оценить степень внедрения ее в поверхности гильзы и кольца:

В период активного взаимодействия абразивных частиц с поверхностями гильзы и кольца поршень перемещается на величину ΔS_n, а абразивная частица, взаимодействуя с кольцом и гильзой, также проходит путь соответственно, по кольцу ΔL_k, по гильзе ΔL_r.

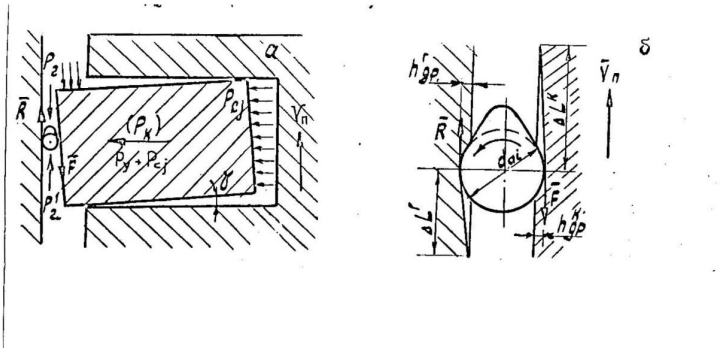


Рис. 1. Схема сил, действующих на абразивную частицу в активный (а) период взаимодействия (положение кольца в такте сжатия); б – схема к определению пути скольжения частицы по поверхности кольца и гильзы.

Силы F(R) (см.рис.1, а) являются активными изнашивающими силами и определяются из выражений:

$$F = P_k\, cos(\alpha' + \gamma) * f_k; \qquad (4)$$

$$R = P_k\, cos\, \alpha' * f_r \qquad (5)$$

где f_k и f_r – коэффициенты трения по кольцу и по гильзе.

Износ, производимый абразивными частицами за цикл работы дизеля, определяется по уравнению:

$$И_i = И_{вп} + И_{сж} + И_{расш} + И_{вып} \qquad (6)$$

где $И_{вп}, И_{сж}, И_{расш}$ и $И_{вып}$ – линейный износ поверхностей гильзы и колец за такты впуска, сжатия, расширения и выпуска.

Скорость изнашивания гильзы по высоте в целом $\mathcal{V}_u^r$ определяется суммированием скорости изнашивания от всех колец:

$$\vartheta_u^г = \Delta\vartheta_{u1k}^г + \Delta\vartheta_{u2k}^г \ldots + \Delta\vartheta_{ujk}^г \qquad (7)$$

Выявлено закономерное снижение эффективной мощности, крутящего момента и повышение удельного расхода топлива в зависимости от степени изношенности деталей ЦПГ, т.е. от продолжительности износных испытаний.

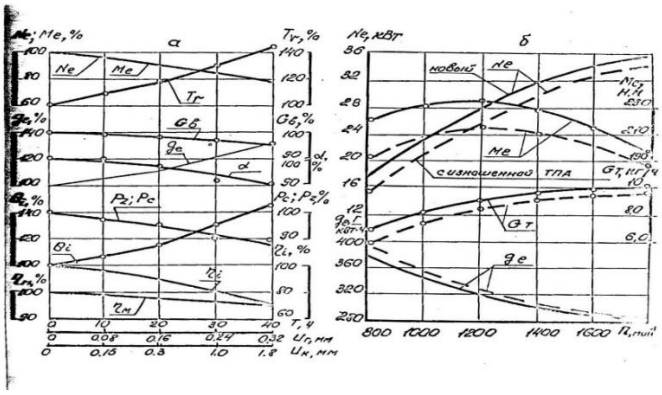


Рис. 2. Влияние степени изношенности деталей ЦПГ (продолжительности ускоренных износных испытаний) на изменение показателей дизеля Д-37Е (n = 1800 мин$^{-1}$).

Из рис.2 видно, что на номинальном режиме уменьшение энергетических показателей составило 22%. При G_T= const удельный расход топлива увеличился на 29%.

В результате износных испытаний также подтверждено, что в первую очередь выходит из строя комплект поршневых колец, тогда как гильза и остальные детали имеют достаточный ресурс. Следовательно, одним из способов повышения топливно-энергетических и ресурсных сказателей двигателя является своевременная замена быстроизнашивающихся деталей ЦПГ.

На рис.3, а и б приведены результаты расчета величин износа верхнего компрессионного кольца в зависимости от продолжительности испытаний, а также гильзы по высоте через 40 часов испытаний.

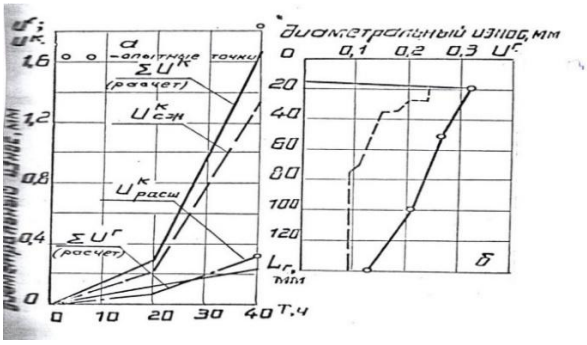


Рис. 3. Влияние продолжительности износных испытаний на величину и характер изнашивания деталей ЦПГ (а) и (б) при искусственном введении абразивных частиц в воздух и в топливо.

Анализ рис.3, а показывает, что величина износа кольца существенно увеличивается после снятия твердого хромового покрытия (Т=20 час); расхождение результатов не более 2-3%, Из рис.3, б видно, что характер и численные значения износа гильзы по высоте, полученные расчетом, существенно не отличаются от экспериментальных данных, расхождение в величинах составляет 20-25% и объясняется тем, что предложенные формулы не учитывают другие виды изнашивания (коррозионный, адгезионный и т.п.), которые имеют место при работе двигателя.

Вывод

Ресурс двигателей мобильных машин (хлопкоуборочные комбайны, пахотные трактора и грузовые автомобили) в условиях высоких температур и запыленности воздуха в зависимости от зоны эксплуатации уменьшается в 2-3 раза из-за значительного увеличения (до 2-3раз) скорости изнашивания деталей двигателя. При этом снижение энергетических и экономических показателей дизелей мобильных машин достигает 20 и более процентов.

Наибольшее количество отказов наблюдается в системе питания топливом – до 54%, в деталях ЦПГ и КШМ – 21% и в системе охлаждения и смазки 8%.

При этом рекомендуется:

– изменение энергетических показателей дизелей при эксплуатации оценивать по снижению давления конца сжатия (Рс); предельно-допустимым для эксплуатации следует считать снижение Рс на 10%.

– расчетные величины износа деталей ЦПГ удовлетворительно согласуются с экспериментальными, отклонение составляет для гильзы – 20-25%, а для колец – 2-3%.

Список литературы:

1. Кадиров С.М. Повышение топливно-энергетических и ресурсных показателей дизелей мобильных сельскохозяйственных машин в условиях высокой температуры в запыленности воздуха. Диссертация на соискание уч.ст. д.т.н. Ленинград-Пушкин, 1984.

2. Кадиров С.М., Мухамеджанов Ш.Ш. Высокий ресурс двигателей. Как его обеспечить? Ташкент, ТАДИ, 2008. 15 п.л.

УДК 004.93'12

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ И КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ, ВЫЯВЛЯЕМЫХ ПРИ ТЕПЛОВОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ КОНТРОЛЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ И ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ
PATTERN RECOGNITION AND CLASSIFICATION OF DEFECTS DETECTED DURING THERMAL AUTOMATED CONTROL OF METAL PRODUCTS OF COMPLEX SHAPE AND INTERNAL STRUCTURE

Антон Андреевич Орлов[1], Олег Николаевич Будадин[2], Софья Олеговна Козельская[2,3], Михаил Юрьевич Федотов[4,5]
Anton A. Orlov[1], Oleg N. Budadin[2], Sofiya O. Kozelskaya[2,3], Mikhail Yu. Fedotov[4,5]

[1] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва
[1]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research University «MEI», Russia, Moscow
(e-mail: OrlowAA@mpei.ru)
[2]АО «Центральный научно–исследовательский институт специального машиностроения», Россия, Московская обл., г. Хотьково
[2]JSC Central Research Institute of Special Machine Building, Russia, Moscow Region, Khotkovo
[3]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов
[3]Tambov State Technical University, Russia, Tambov
[4]Российская инженерная академия, Россия, г. Москва
[4]Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow
[5]Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, г. Новосибирск
[5]Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Novosibirsk

Аннотация: Представлен метод распознавания образов и классификации дефектов, выявляемых при тепловом автоматизированном контроле металлических изделий сложной формы и внутренней структуры на основе метода векторного квантования.

Abstract: A method of pattern recognition and classification of defects detected during thermal automated control of metal products of complex shape and internal structure based on the vector quantization method is presented.

Ключевые слова: распознавание образов, тепловой автоматизированный контроль, метод, классификация дефектов, металлические изделия сложной формы и внутренней структуры, векторное квантование.

Keywords: pattern recognition, thermal automated control, method, classification of defects, metal products of complex shape and internal structures, vector quantization.

Одной из задач теплового контроля является идентификация вида дефектов и оценка порога принятия решения о допуске изделия в эксплуатацию. При этом решение задачи оценки надежности по результатам неразрушающего контроля не реализовано для лопаток турбин при достаточно высоком уровне доверительной вероятности. Новые возможности открываются в случае применения интеллектуальных самообучающихся программ, разработанных с учетом анализа базы данных, включающей в себя результаты испытаний и эксплуатации объектов.

Принципиальным моментом разработки систем векторного квантования является выбор метрики, определяющей близость кодирующих сигналов к прототипам классов, наиболее общей из которых для данных систем является метрика Ф. Итакуры – С. Сайто [1], имеющая вид:

$$D(x(k), w_j) = (x(k) - w_j)^T D(x)(x(k) - w_j) = \| x(k) - w_j \|^2_{D(x)}, \quad (1)$$

где $D(x)$ – некоторая положительно определенная симметрическая матрица.

Частным случаем (1) является популярная в теории распознавания образов метрика П. Махаланобиса:

$$D(x(k), w_j) = (x(k) - w_j)^T \Sigma^{-1}(x(k) - w_j) = \| x(k) - w_j \|^2_{\Sigma^{-1}}, \quad (2)$$

где $\Sigma = \mathrm{M}\{(x(k) - \overline{x})(x(k) - \overline{x})^T\}$, $\overline{x} = \mathrm{M}\{x(k)\}$, M{x(k)} – символ математического ожидания.

В простейшем случае при

$$D(x(k), w_j) = \| x(k) - w_j \|^2 \quad (3)$$

приходим к так называемому квантователю Вороного [2], осуществляющему разбиение входного пространства на клетки, каждой из которых соответствует свой прототип w_j, $j = 1, 2, \ldots, m$.

Именно на основе квантователя Вороного Т. Кохоненом была предложена техника обучаемого векторного квантователя и соответствующая ей искусственная нейронная сеть, узлами которой являются адаптивные линейные ассоциаторы, а архитектура полностью совпадает с самоорганизующейся картой.

Принципиальным отличием между самоорганизующимися картами (SOM) и сетями векторного квантования (LVQ-ANN) состоит в принципах их обучения. Если в основе SOM лежит конкурентное самообучение, то для LVQ-сетей характерно контролируемое обучение с учителем, хотя элементы конкуренции при этом не исключаются.

Целью настоящей работы является модификация известного алгоритма обучения LVQ1 с целью повышения его быстродействия и качества обработки информации при использовании радиальных метрик.

Процесс обучения сети векторного квантования начинается с того, что для каждого предварительно нормированного входного вектора $x(k)$ ($\| x(k) \| = 1$) определяется свой нейрон-победитель, синаптические веса w_j^* которого соответствуют прототипу определенного класса. Иначе говоря, победителем является нейрон с минимальным расстоянием до предъявленного входного вектора

$$D(x(k), w_j^*(k)) = \min_j \| x(k) - w_j(k) \|^2 \qquad (4)$$

или, что для нормированных векторов то же самое,

$$D(x(k), w_j^*(k)) = \max_j x^T(k) w_j(k) = \max_j \cos(x(k), w_j(k)) \,. \qquad (5)$$

Поскольку обучение является контролируемым, то принадлежность вектора $x(k)$ к конкретной области пространства X известна, что позволяет рассмотреть две типичные ситуации, возникающие в обучаемом векторном квантовании:

входной вектор $x(k)$ и нейрон-победитель w_j^* принадлежат одной и той же клетке Вороного;

входной вектор $x(k)$ и нейрон-победитель w_j^* принадлежат разным клеткам Вороного.

Тогда соответствующие LVQ-правило обучения, введенное Кохоненом, может быть записано в виде

$$w_j(k+1)=\begin{cases} w_j^*(k)+\eta(k)(x(k)-w_j^*(k)), & \text{если } x(k) \text{ и } w_j^*(k) \\ & \text{принадлежат одной} \\ & \text{клетке,} \\ w_j^*(k)-\eta(k)(x(k)-w_j^*(k)), & \text{если } x(k) \text{ и } w_j^*(k) \text{ не} \\ & \text{принадлежат одной} \\ & \text{клетке,} \\ w_j(k), & \text{для нейронов, не} \\ & \text{победивших в момент } k, \end{cases}, \quad (6)$$

где $\eta(k)$ – скалярный параметр, определяющий характер процесса обучения.

Правило (6), основанное на стратегии «победитель получает все», имеет достаточно ясные физический смысл: если нейрон-победитель и предъявленный образ относятся к одному классу, то прототип $w_j^*(k)$ «подтягивается» к $x(k)$; в противном случае прототип $w_j^*(k)$ «отталкивается» от $x(k)$, увеличивая тем самым расстояние $D(x(k), w_j^*(k))$.

Рассматривая конструкцию (6) с формальной точки зрения, можно заметить, что первое ее отношение есть не что иное, как градиентная процедура минимизации квадрата нормы (3), а второе – его максимизации. Опираясь на этот факт, можно ввести LVQ-правило обучения, основанное на метрике Итакуры-Сайто в виде:

$$w_j(k+1)=\begin{cases} w_j^*(k)+\eta(k)D(x)(x(k)-w_j^*(k)), & \text{если } x(k) \text{ и } w_j^*(k) \\ & \text{принадлежат одной} \\ & \text{клетке,} \\ w_j^*(k)-\eta(k)D(x)(x(k)-w_j^*(k)), & \text{если } x(k) \text{ и } w_j^*(k) \text{ не} \\ & \text{принадлежат одной} \\ & \text{клетке,} \\ w_j(k), & \text{для нейронов, не} \\ & \text{победивших в момент } k, \end{cases}. \quad (7)$$

Что касается выбора величины шага поиска $\eta(k)$, то общая рекомендация состоит в том, что он должен постоянно уменьшаться, в процессе контролируемого обучения. В [3] доказана сходимость процедуры обучения векторного квантования в предположении, что параметр $\eta(k)$ изменяется в соответствии с условиями А. Дворецкого. Это позволяет выбирать шаг поиска согласно алгоритму стохастической аппроксимации, введенному в [4, 5], согласно которому:

$$\eta(k) = r^{-1}(k), \quad r(k) = r(k-1) + \| x(k) \|^2 . \tag{8}$$

Несложно заметить, что при $\| x(k) \| = 1$, (8) принимает крайне простую форму

$$\eta(k) = \frac{1}{k} . \tag{9}$$

Для нестационарных ситуаций можно использовать модификацию в виде [6]

$$\eta(k) = r^{-1}(k), \quad r(k) = \alpha r(k-1) + \| x(k) \|^2, \quad 0 \le \alpha \le 1, \tag{10}$$

что задает интервал изменения параметра шага

$$\frac{1}{k} \le \eta(k) \le 1 . \tag{11}$$

Необходимо отметить также, что нормирование входных сигналов $x(k)$ вовсе не гарантирует того, что прототипы классов также будут отвечать условию $\| w_j \| = 1$, а его невыполнение делает невозможным в качестве метрики использовать крайне удобное и наглядное выражение (5). Обойти данное затруднение несложно, модифицировав правило обучения (6) следующим образом:

$$w_j(k+1) = \begin{cases} \frac{w_j^*(k)+\eta(k)(x(k)-w_j^*(k))}{||w_j^*(k)+\eta(k)(x(k)-w_j^*(k))||}, & \text{если } x(k) \text{ и } w_j^*(k) \\ & \text{принадлежат одной} \\ & \text{клетке,} \\ \frac{w_j^*(k)-\eta(k)(x(k)-w_j^*(k))}{||w_j^*(k)-\eta(k)(x(k)-w_j^*(k))||}, & \text{если } x(k) \text{ и } w_j^*(k) \text{ не} \\ & \text{принадлежат одной} \\ & \text{клетке,} \\ \frac{w_j(k)}{||w_j(k)||}, & \text{для нейронов, не} \\ & \text{победивших в момент } k, \end{cases} . \quad (12)$$

Разработанные алгоритмы могут быть использованы как для контролируемого обучения, так и для самообучения адаптивных гибридных систем распознавания образов [7], одна из возможных схем которых приведена на рис 1.

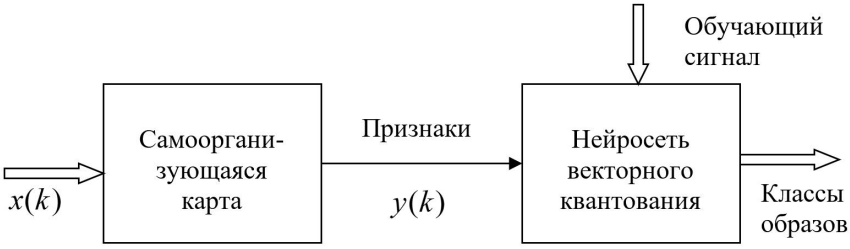


Рис. 1. Адаптивная гибридная схема распознавания образов

Данная схема состоит из двух последовательно соединенных однотипных архитектур, первая из которых (карта Кохонена) работает в режиме самообучения, а вторая (нейросеть векторного квантования) – контролируемого обучения. Из поступающего на вход системы вектора-образа $x(k)$ достаточно высокой размерности карта Кохонена выделяет относительно малый набор признаков $y(k)$, т. е. фактически осуществляет понижение размерности входного пространства без существенной потери информации. На втором этапе сеть векторного квантования обучается классификации поступающих образов $y(k)$ с помощью внешнего обучающего сигнала. При этом обе сети могут обучаться с помощью одного и того же алгоритма (4), (5) или (8), из которых самоорганизующаяся карта использует только первое и последнее соотношения. Регули-

рованием параметра α соотношения (7) можно добиться желаемого характера процесса настройки синаптических весов. Такая организация процесса обучения и распознавания образов позволяет увеличить его быстродействие и надежность.

Выводы

Представлен разработанный метод распознавания образов и классификации дефектов, выявляемых при тепловом автоматизированном контроле металлических изделий сложной формы и внутренней структуры на основе метода векторного квантования.

Список литературы

1. Itakura F. Maximum prediction residual principle applied to speech recognition // IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing. – 1975. – 23. – P. 67–72.

2. Gersko A. On the structure of vector quantizers //IEEE Trans. on Information Theory. – 1982. – 28. – P. 157–166.

3. Baras J.S., La Vigna A. Convergence of Kohonen's learning vector quantization // Proc. Int. Joint Conf. on Neural Networks. – San Diego, CA, 1990. – 3. – P. 17–20.

4. Goodwin G.C., Ramadge P.J., Caines P.E. Discrete time stochastic adaptive control // SIAM J. Control and Optimization. – 1981. – 19. – N 6. – P. 829–853.

5. Goodwin G.C., Ramadge P.J., Caines P.E. A globally convergent adaptive predictor // Automatica. – 1981. – 17. – N 1. – P. 135–140.

6. Бодянский Е.В., Плисс И.П., Соловьева Т.В. Многошаговые оптимальные упредители многомерных нестационарных стохастических процессов // Доклады АН УССР. – 1986. – Сер. А. – № 12. – С. 47–49.

7. Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation. – Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, Inc., 1999. – 842 p.

УДК 621.311

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SOLAR ENERGY

Анна Васильевна Дергунова[1,2]
Anna Vasilyevna Dergunova[1,2]

[1]Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Россия, Саранск
[1]National Research Mordovia State University, Russia, Saransk
(e-mail: anna19811981@mail.ru)
[2]Российская инженерная академия (Мордовское отделение)
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: В статье приводятся причины для оптимизма в отношении будущего солнечной энергетики, включая продолжающийся впечатляющий рост, общее положительное воздействие на окружающую среду, повышение энергетической независимости и технологические достижения.

Abstract: The article provides reasons for optimism about the future of solar energy, including continued impressive growth, overall positive environmental impact, increased energy independence and technological advances.

Ключевые слова: солнечная энергия, фотоэлектрическая промышленность, энергетическая устойчивость, окружающая среда.

Keywords: solar energy, photovoltaic industry, energy sustainability, environment.

Солнечная энергия в настоящее время составляет около 5% от общего объема производства электроэнергии в мире. Это может показаться небольшим процентом, но мировая солнечная промышленность быстро растет в последние годы.

По данным Международного энергетического агентства, во всем мире в последнее время было установлено больше фотоэлектрических мощностей, чем в любом другом источнике энергии. Так, например, в настоящее время общая мощность фотоэлектрических электростанций в США составляет 53 ГВт, чего достаточно для питания более 10 миллионов домов. В Германии более 47 ГВт фотоэлектрических мощностей и она получает более 7% своей энергии только от фотоэлектрических систем, несмотря на далеко не идеальный климат.

Даже Китай серьезно относится к возобновляемым источникам энергии. Эта страна, которую часто демонизируют за загрязнение окружающей среды угольной энергетикой, располагает более чем 130 ГВт фотоэлектрической мощности. Китай также привлек к себе внимание приверженностью сокращению выбросов парниковых газов, сорвав планы строительства более 100 угольных электростанций. Сейчас Китай является мировым лидером в производстве фотоэлектрических систем. Это в значительной степени обусловлено спросом со стороны Европейского союза.

До 2000 года в Китае фотоэлектрическая промышленность только зарождалась, в то время как Германия, Испания и другие европейские страны уже начали субсидировать масштабные солнечные проекты, чтобы повысить свою энергетическую независимость и снизить воздействие на окружающую среду. Предложение фотоэлектрических систем было недостаточно для удовлетворения спроса, поэтому Китай стал создавать новое производство, чтобы заполнить образовавшийся дефицит. В 2005 году Китай принял Закон о возобновляемых источниках энергии для продвижения возобновляемых источников энергии и использовал свои трудовые, финансовые ресурсы и инфраструктуру для строительства крупных заводов по производству фотоэлектрических панелей и наращивания производства. Китай в настоящее время производит 60% мировых фотоэлектрических панелей.

Быстрое увеличение производственных мощностей наряду с растущим спросом привело к значительному снижению цен на фотоэлектрические элементы. С 2008 года к настоящему времени совокупные затраты снизились более чем на 80%. И впервые в истории стоимость электроэнергии, вырабатываемой на фотоэлектрических установках, достигла 6 центов за кВт·ч, что делает ее конкурентоспособной по стоимости со стандартными коммунальными расходами.

В настоящее время солнечные панели производятся в Китае, Мексике, на Филиппинах, в Канаде, Германии, Южной Корее и других странах. Отдельные солнечные элементы из кристаллического кремнезема часто изготавливаются отдельно и импортируются.

Россия остается крупнейшей экономикой мира, которая практически не использует солнечную и ветровую энергию – на эти два источника приходится лишь 0,2% производства всей электроэнергии в стране. С одной стороны, Россия существенно отстает от большинства других стран в области солнечной энергетики. С другой стороны, она обладает огромным потенциалом развития данной отрасли, который может стать одним из источников экономического роста.

Существует много причин, по которым фотоэлектрическая энергия является устойчивым источником энергии:

• обеспечивает энергией из неограниченного источника;

• не производит выбросов и не использует водные ресурсы;

• продолжает вырабатывать электроэнергию на протяжении всего срока службы, который оценивается более чем в 20 лет;

• требует небольшого технического обслуживания;

• солнечные панели могут быть установлены локально, сокращая затраты на инфраструктуру и землепользование, которые необходимы в случае постройки линий электропередачи от централизованных источников.

Основным преимуществом фотоэлектрических систем является возможность снизить использование ископаемого топлива, которое влечет за собой гораздо больший ущерб окружающей среде и здоровью людей в результате добычи полезных ископаемых, работы нефтехимической промышленности, местных выбросов парниковых газов, токсичных выбросов, побочных продуктов отходов и многого другого.

Заводы, работающие на ископаемом топливе, также выделяют:

– ртуть, свинец и другие токсичные тяжелые металлы;

– диоксид серы, вызывающий кислотные дожди;

– оксиды азота и другие соединения, вызывающие смог;

– твердые частицы, которые связаны с проблемами сердца и дыхания.

Тем не менее, есть большой парадокс в использовании солнечной энергии, который заключается в том, что Китай по-прежнему получает большую часть своей энергии от грязных угольных электростанций, и эта энергия используется для производства большинства фотоэлектрических панелей в мире.

Использование солнечной энергии более экологично, но имеет все же свои недостатки. Масштабные фотоэлектрические системы могут занимать большие участки земли и, если их не правильно расположить, могут привести к разрушению экосистемы. В то же время размещение промышленных фотоэлектрических установок на заброшенных полях уменьшает эти воздействия. Небольшие коммерческие солнечные системы, установленные на собственной земле, крышах и навесах для автомобилей, как правило, не представляют проблемы и могут быть демонтированы в случае необходимости.

Как уже отмечалось, Китай по-прежнему использует уголь в качестве источника топлива и построил большую часть своих фотоэлектрических мощностей со слабыми экологическими и трудовыми нормами. Как результат: панель, изготовленная в Китае, оказывает в два

раза большее воздействие на окружающую среду, чем панель, изготовленная в Европе.

Фотоэлементы – это тоже не просто стекло и провода. Производство фотоэлектрических элементов – это энергоемкий процесс, который требует много различных материалов, использует токсичные чистящие химикаты и производит вредную кремнеземную пыль. Наибольшее загрязнение происходит из-за тетрагидрата кремния, который используется для производства элементов. При неправильном сбросе он может выделять соляную кислоту, которая загрязняет воду и почву и наносит вред людям. Тяжелые металлы используются в менее дорогих тонкопленочных системах из теллурида кадмия и селенида индия-галлия меди.

Отходы, образующиеся в процессе переработки, являются серьезной проблемой для фотоэлектрической промышленности. Предполагается, что фотоэлектрические панели прослужат более 20 лет, но настанет день, когда отрасли придется иметь дело с огромным количеством электронных отходов. Солнечные панели изготавливаются из разнородных материалов – стекла, металлов (некоторые опасные), герметиков и других – и отделить их будет непросто. Переработка фотоэлектрических элементов еще не получила широкого распространения.

Одним из главных преимуществ солнечной энергетики является энергетическая устойчивость. Солнечная энергия обладает потенциалом для обеспечения энергией на местном уровне, независимо от электросети, поэтому она может обеспечивать аварийное питание во время перебоев в подаче электроэнергии.

Это снижает нагрузку на энергосистему и предотвращает ввод в эксплуатацию менее эффективных, более загрязняющих окружающую среду временных установок. Потребление солнечной энергии обеспечивает учет этого избытка энергии, добавляемого в сеть, и помогает сбалансировать затраты между днями высокой и низкой выработки.

В то же время проблема устойчивости бросает вызов нормам полезности.

Солнечная энергия, которая может вырабатываться локально, является серьезной проблемой для коммунальных служб, которые десятилетиями работали по централизованной модели, когда крупная электростанция подключена к городам через мощную инфраструктуру. И расходы на строительство часто ложатся на плечи налогоплательщиков. Переход к большему использованию солнечной энергии и других возобновляемых источников энергии является поворотным моментом в нашем энергетическом будущем, который бросает вызов бизнес-модели коммунальных предприятий. И они сопротивляются.

У коммунальных предприятий есть обоснованные опасения, когда речь заходит об интеграции возобновляемых источников энергии. Мощность постоянного тока, получаемая от возобновляемых источников энергии, должна быть преобразована в переменный ток и соответствовать напряжению и нагрузкам, чтобы она была совместима с сетью. Энергосистемы в большинстве стран старые и сложные и были спроектированы для передачи энергии, а не для ее получения, поэтому во всех системах существуют системы сдержек и противовесов, которые предотвращают сбои в работе сети и затрудняют интеграцию возобновляемых источников энергии.

Как уже отмечалось, стоимость солнечной энергии в настоящее время конкурентоспособна по сравнению с другими видами топлива. Системы солнечной энергетики обычно окупаются менее чем за десять лет, и чем крупнее система, тем больше отдача от инвестиций. Для коммерческой недвижимости могут быть дополнительные финансовые выгоды:

• солнечная энергия снижает эксплуатационные расходы, снижает счета за электроэнергию и может обеспечить стабильную цену на энергию с течением времени;

• энергоэффективные здания, использующие солнечную энергию, могут взимать более высокую арендную плату, и при этом пользоваться высоким спросом;

• индивидуальные потребители выигрывают от снижения затрат на электроэнергию.

Выводы

Солнечная энергия меняет то, как мы получаем доступ к энергии и используем ее. Мы переходим от централизованной сети, в которой доминируют коммунальные службы, которые существуют уже более 70 лет, к новым, более децентрализованным системам, использующим возобновляемые источники энергии и аккумуляторные батареи. Переход, вероятно, будет непростым, но это небольшая цена за доступную энергию, которая приводит к более чистой окружающей среде и повышению энергетической устойчивости.

Список литературы

1. Кенжаев З.Т. Состояние и перспективы развития солнечной энергетики // Молодой ученый. 2017. № 37 (171). С. 6-7. URL: https://moluch.ru/archive/171/45649

2. Усков А.Е. Солнечная энергетика: состояние и перспективы // Научный журнал КубГАУ. 2014. №98(04). С. 1-11.

3. Бубенчиков А.А., Нурахмет Е.Е., Молодых В.О., Руденок А.И. Солнечная энергия как источник электрической энергии // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 5 (47). С.59-62.

4. Dirk C., Kurtz S., VanSant K., Newmiller J. Compendium of photovoltaic degradation rates // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 2016. Vol. 24. PP. 978–989.

УДК 691.41

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН ХАКАСИИ
INFLUENCE OF CHEMICAL MODIFICATION ON RHEOLOGICAL AND FILTRATION PROPERTIES OF BENTONITE CLAYS OF KHAKASSIA

Любовь Петровна Нагрузова[1,2], Анна Олеговна Юданова[3], Алексей Алексеевич Калистратов[3]
Lyubov P. Nagruzova[1,2], Anna O. Yudanova[3], Alexei A. Kalistratov[3]

[1]Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, Россия, Абакан
[1]Katanov Khakass State University, Russia, Abakan
(e-mail: l_nag@bk.ru)
[2]Хакасское региональное отделение Российской инженерной академии
[3]Общество с ограниченной ответственностью «Бентонит Хакасии», Россия, Черногорск
[3]«Bentonite of Khakassia» Ltd, Russia, Chernogorsk
(e-mail: yudanova@b-kh.ru; kalistratov@b-kh.ru)

Аннотация: Рассмотрены результаты исследования свойств химически модифицированных бентонитовых глин месторождения «10-й Хутор» (Хакасия). Показано влияние магнийсодержащего активатора на изменение реологических и фильтрационных характеристик.

Abstract: The results of studying the properties of chemically modified bentonite clays of the 10th Khutor deposit (Khakassia) are considered. The influence of a magnesium-containing activator on the change in rheological and filtration characteristics is shown.

Ключевые слова: бентонитовая глина, активатор, модификация.
Keywords: bentonite clay, activator, modification.

В последние десятилетия в строительной отрасли интерес к соединениям магния в качестве компонентов растворов, используемых в буровых работах (горизонтально-направленном бурении, тоннелировании), усилился, причем, как в России, так и за рубежом. И, хотя, первые промышленные испытания магнийсодержащих систем прошли еще в

80-х годах XX века, данные смеси из-за высокой сложности приготовления и неустойчивости реологических и фильтрационных свойств не получили большого распространения.

В свою очередь, щелочная модификация бентонитовых глин в различных направлениях применения позволяет получать значительные результаты в части таких параметров, как выход глинистого раствора, показатель фильтрации, пластическая вязкость и др. [1–3], однако, потенциал транспортирующей способности буровых растворов на основе глинопорошков может быть повышен. Возникающий вопрос поиска химической модификации бентонитовых глин, способствующей получению более эффективного материала, интересен для бурения в целом, но особенно важен для бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин.

Следует отметить, что, при наличии значительного объема исследований и экспериментальных работ в области активации бентонитов [4–6], модификация магнийсодержащими добавками бентонитовых глин без дополнительного введения полимерных материалов оценена недостаточно.

В качестве объекта исследования была выбрана бентонитовая глина продуктивных пластов месторождения «10-й Хутор» Республики Хакасия. Продукт модификации данных глин – глинопорошок бентонитовый для буровых растворов различных марок, на протяжении более 20 лет востребован в организациях, занимающихся буровыми работами в различных условиях. Исторически в качестве химического модификатора использовалась кальцинированная сода, способ модификации отражен в патенте [7].

Испытания проводились на базе химической лаборатории ООО «Бентонит Хакасии». В рамках эксперимента решались несколько задач:

– определялись условия активации, в том числе, через оценку физико-химических характеристик исходных и модифицированных проб глин;

– осуществлялся подбор массовой концентрации активатора и схем его внесения.

Методика эксперимента включала несколько этапов: на первоначальном – для представительных проб природной бентонитовой глины продуктивных пластов проводилась оценка содержания основного компонента (монтмориллонита – ММТ) химическим методом.

Для следующего этапа работ часть образцов исходных глин каждого пласта выделялась в виде контрольных проб, активированных кальцинированной содой по утвержденным производственным нормам.

Другую часть исходных глин измельчали до полного прохождения через сито с размерами ячейки 10 мм, досушивали, и переводили в порошковую форму (класс частиц 0,2-0,071 мм) с содержанием влаги 5-10%.

В подготовленные пробы вносились по разработанным схемам кальцинированная сода и магнийсодержащий активатор в различных дозировках.

Изучение свойств полученных материалов проводилось с использованием методов исследования реологии суспензий, метода определения показателя фильтрации глинистого раствора, метода определения индекса набухания бентонитовых глин.

В качестве магнийсодержащей добавки был использован промышленный оксид магния с содержанием основного компонента 75%.

Варианты экспериментальных систем, рассматриваемых в ходе исследования химической модификации, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Варианты модельных систем при постановке эксперимента по химической модификации бентонитовых глин

Наименование образца	Содержание ММТ, %	Модификатор	Схема активации
Бентонитовая глина 4 пласт	60-65%	кальцинированная сода (Na_2CO_3)	Базовая однокомпонентная
		кальцинированная сода (Na_2CO_3) + оксид магния (MgO)	Совместная
Бентонитовая глина 5 пласт	50-55%	кальцинированная сода (Na_2CO_3)	Базовая однокомпонентная
		кальцинированная сода (Na_2CO_3) + оксид магния (MgO)	Совместная
Бентонитовая глина 6 пласт	более 80%	кальцинированная сода (Na_2CO_3)	Базовая однокомпонентная
		кальцинированная сода (Na_2CO_3) + оксид магния (MgO)	Совместная
Бентонитовая глина 7 пласт	50-55%	кальцинированная сода (Na_2CO_3)	Базовая однокомпонентная
		кальцинированная сода (Na_2CO_3) + оксид магния (MgO)	Совместная
Бентонитовая глина 8 пласт	50-55%	кальцинированная сода (Na_2CO_3)	Базовая однокомпонентная
		кальцинированная сода (Na_2CO_3) + оксид магния (MgO)	Совместная

Для всех вышеуказанных экспериментальных материалов получены результаты определения следующих показателей:

– индекса набухания (показывает увеличение объема подсушенного бентонита массой 2 г в пересчете на сухой вес, внесенного постепенно в 100 $см^3$ дистиллированной воды, со снятием характеристики через 2 ч. Принятая единица измерения – мл/2г.);

– выхода глинистого раствора с вязкостью 20 мПа*с (в $м^3/т$) и показателя фильтрации (в $см^3$).

Увеличение индекса набухания при совместном введении магнийсодержащего активатора и кальцинированной соды наблюдается во всех экспериментальных образцах, однако, значительного прироста показателя не происходит, причем, вне зависимости от содержания ММТ в глинах. Кроме того, увеличение индекса набухания, скорее, можно связать с увеличением содержания щелочного активатора, чем с действием оксида магния.

Иная картина наблюдается при определении выхода глинистого раствора (рис. 1). За базовое значение показателя, в данном случае, были приняты результаты определения выхода глинистого раствора с вязкостью 20 мПа*с проб глин каждого исследуемого пласта, активированных кальцинированной содой с производственной нормой содержания. Указанные на рис. 1 кривые отражают увеличение (или снижение) величины показателя в исследуемых пробах по отношению к базовому при разных содержаниях традиционного и магнийсодержащего активатора.

Особое внимание привлекает кривая 1, которая отражает изменения, происходящие с глинами 8 пласта: для получения максимальной величины выхода раствора для данных глин может быть достаточно небольшого количества модификатора, а увеличение количества активаторов приводит к снижению показателя.

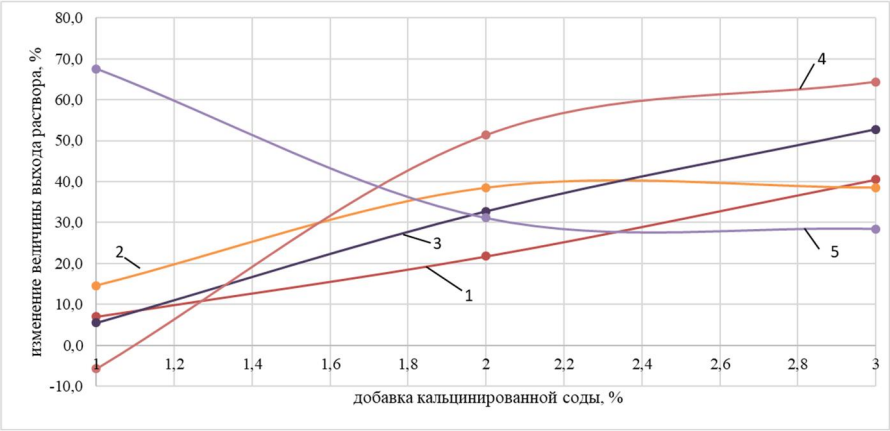


Рис. 1. Изменение величины выхода раствора при варьировании содержания модификаторов

На кривых 1, 3 и 4 наблюдается достижение наилучшего эффекта по выходу раствора при максимально возможных в рамках исследования содержании модификаторов.

В данном эксперименте подтвердилось значительное увеличение фильтрации (ослабление фильтрационных свойств) бентонитовых глин при добавлении соединений магния. Именно данный фактор, в большей степени, является значимым препятствием для активного внедрения практики применения магнийсодержащих модификаторов.

В заключение статьи следует отметить, что поиск новых химических модификаторов бентонитовых глин является одной из наиболее важных задач предприятий, производящих продукцию для буровых работ, в том числе, для горизонтально-направленного бурения. В области поиска эффективных магнийсодержащих модифицирующих добавок для бентонитов необходимо продолжить работы, направленные на сокращение количества вносимых активаторов, на улучшение фильтрационных способностей глин за счет подбора схем активации и комбинаций активаторов, препятствующих выделению фильтрата.

Выводы

Проведено экспериментальное исследование влияния химического модифицирования на реологические и фильтрационные свойства бентонитовых глин Республики Хакасия при различных параметрах активации: определены условия активации глин различных пластов с разным содержанием основного минерала монтмориллонита; проведен подбор массовой концентрации щелочного традиционного активатора и магнийсодержащего активатора; подобраны оптимальные схемы внесения указанных модификаторов.

Список литературы

1. Пивикова М.С., Тимофеева А.С., Ряполов В.В., Фирсовская Е.В. Активация бентонитовой глины и её влияние на комкуемость шихты для окатышей // Материалы IX Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: https://scienceforum.ru/2017/article/2017038098 (дата обращения: 23.01.2023)

2. Куртукова Л.В., Сомин В.А., Комарова Л.Ф. Изменение свойств бентонитовых глин под действием различных активаторов // Ползуновский вестник. – 2013. – №1, «Экология». – С. 287−289

3. Аллен А.С., Стоквелл Д.О., Блэк Я.Д.; Эллайд Коллоидс Лимитед. Активирование набухающих глин и процессы использования активированных глин. Патент № 2144592 C1 РФ, МПК7 D21H 17/68 D 21 H 17/68, 17/07, 17/10, 17/15, 23/04, C04B 33/04, C09C 1/42. № 98118376/12; Заявл.10.03.1997; Опубл. 20.01.2000

4. Горюшкин В. В. Технологические свойства бентонитов палеоцена воронежской антеклизы и возможности их изменения // Вестник Воронежского университета. Геология. 2005. № 1. С. 166-177

5. Бортников С.В. Активация щелочноземельного бентонита карбонатом натрия. Альманах современной науки и образования. 2012; № 2(57); 61-63

6. Ильин В.П., Бабец М.А., Игнатенко С.П., Кольненков В.П., Мартынов А.А., Курец А.И. Бентонитовые глины Беларуси – потенциал импортозамещения минерального сырья // Горная механика и машиностроение. 2015. №2. С. 21-30

7. Ветюгов А. В., Воеводин Л. И., Мальцева В.Е.; Ветюгов А. В., Воеводин Л. И., Мальцева В.Е. Способ активации бентонитовой глины. Патент № 2199504 C1 РФ, МПК7 C04B 33/04, C09K 7/04. № 2001119582/03; Заявл.16.07.2001; Опубл. 27.02.03

УДК 621.914.1

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА СТРАТЕГИИ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ
THE INFLUENCE OF THE CHOICE OF PROCESSING STRATEGY ON THE SURFACE QUALITY WHEN MILLING COMPLEX-PROFILE PARTS

Владимир Михайлович Давыдов[1,2], Вера Олеговна Беркун[1]
Vladimir M. Davydov[1,2], Vera O. Berkun[1]

[1]Тихоокеанский государственный университет, Россия, Хабаровск
[1]Pacific State University, Russia, Khabarovsk
(e-mail: davellut@mail.ru)
(e-mail: vera.berkun.2017@gmail.com)
[2]Российская инженерная академия
[2] Russian Academy of Engineering

Аннотация: В представленной статье рассмотрена последовательность создания управляющей программы для фрезерного обрабатывающего центра с ЧПУ DMG MORI DMU 50 ecoline, с использованием CAM-модуля Esrpit. Целью данной работы является изучение влияния выбора стратегий фрезерования на качество поверхностей и подбор оптимального решения для каждого вида обрабатываемых элементов.

Abstract: The presented article discusses the sequence of creating a control program for a DMG MORI DMU 50 ecoline CNC milling processing center using the Esrpit SELF-module. The purpose of this work is to study the influence of the choice of milling strategies on the quality of surfaces and the selection of the optimal solution for each type of processed elements.

Ключевые слова: фрезерная обработка, стратегия, концевая фреза, ProfitMilling, управляющая программа, CAM-модуль, Esprit, ЧПУ, сложнопрофильная поверхность.

Keywords: milling, strategy, end mill, ProfitMilling, control program, CAM module, Esprit, CNC, complex profile surface.

Принцип работы фрезерных металлообрабатывающих станков основан на механической обработке резанием, путем перемещения по траектории вращающегося инструмента относительно детали, которая предварительно базируется на столе станка. В CAM-системах производится оценка времени, а для обеспечения высокой производительности

важным аспектом является выбор оптимальной стратегии, которая позволит обеспечить требуемое качество поверхности и оптимизировать процесс обработки.

Достоинства использования программного обеспечения (ПО) Esprit заключаются в стандартизации и упрощении механической обработки, а также в сокращении времени на наладку технологического оснащения станка. ПО Esprit предоставляет возможность применять различные технологии фрезерования, позволяет контролировать и настраивать движение инструмента по траектории, а также в процессе входа–выхода из детали. Автоматический расчет модели заготовки позволяет генерировать и оптимизировать траектории, избегая поломок и столкновений инструмента.

Чистовая обработка деталей пространственно–сложной формы (свободной формы) на фрезерных станках с ЧПУ – трудоемкий технологический процесс [1], осуществляемый преимущественно при точечном касании инструмента и детали, которое неизбежно приводит к увеличению длины траектории движения инструмента. Для повышения производительности обработки сложных поверхностей на фрезерных станках с ЧПУ в первую очередь необходимо снижать время резания. Его сокращение может быть достигнуто решением задачи о рациональном составе инструментов, распределении работы между ними и назначении высокопроизводительных режимов резания. В данной статье рассмотрены вопросы, связанные с оценкой влияния стратегии на время обработки при фрезеровании [2, 3]. Объектом исследования в работе является цапфа (рис. 1) для автомобиля марки Toyota Land Cruiser изготовленная из стали 20 ГОСТ 1050-88 на пятикоординатном фрезерном центре DMU 50 ecoline с ЧПУ.

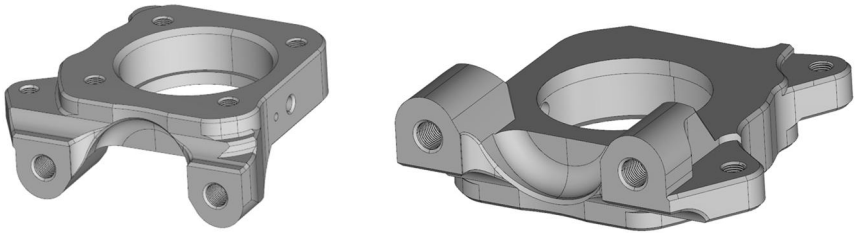


Рис. 1. 3D модель детали представителя

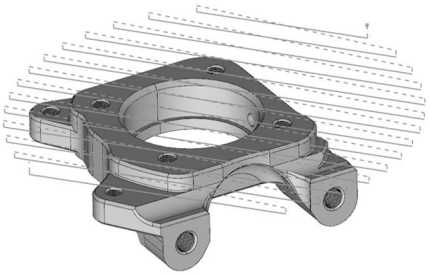
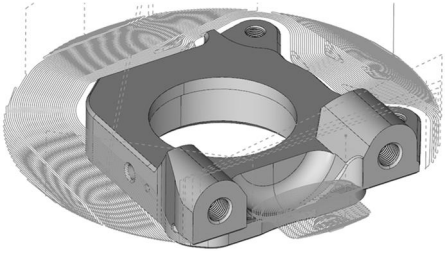
С учетом стратегии обработки поверхностей деталей свободной формы на станках с ЧПУ представлена основная идея выделения тех поверхностей, которые определяют границы технологических переходов.

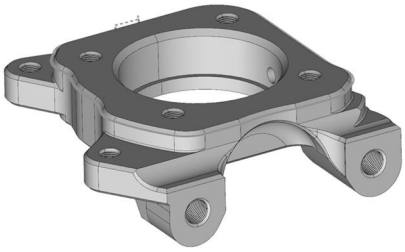
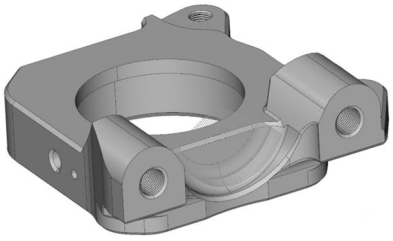
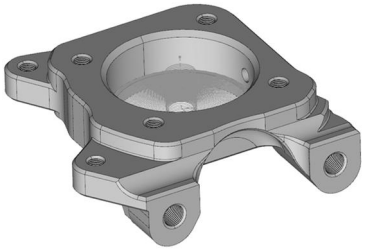
Траектория движения инструмента, переходы, количество холостых ходов и т.п. минимизируются, что позволяет значительно повысить производительность процесса обработки за счет сокращения машинного времени при высоком качестве поверхности детали [2 – 6].

В целях повышения эффективности процесса фрезерования, в данной работе для каждой операции, были подобраны наиболее оптимальные стратегии обработки, представленные в таблице 1.

После выполнения всех операций было проведено исследование по влиянию стратегий обработки на параметры точности. Наиболее оптимальным в качестве окончательной операции послужило каркасное фрезерование, использование которого позволило обеспечить не только минимальное время обработки, но и минимальное значение шероховатости по амплитудному параметру Ra (Ra = 0,16 мкм).

Таблица 1. Основные фрезерные стратегии обработки CAM−модуля Esprit

Наименование операции	Симуляция траектории	Возможные стратегии
Торцевое фрезерование		Данная операция позволяет получить равномерную плоскую поверхность, возможны три стратегии обработки: встречное, попутное фрезерование и зигзаг
Карман		Данная операция постепенно удаляет весь материал на заданной глубине, возможен выбор из шести стратегий обработки: концентрическая внутренняя, наружная, в одном направлении, зигзаг, трохоида и ProfitMilling

Контурное фрезерование		Данная операция предназначена для обработки стенок и фасок, возможны две стратегии обработки встречное и попутное фрезерование
Каркасное фрезерование		Данная операция позволяет производить трехмерную обработку с использованием двумерных профилей. Возможны два варианта обработки встречное и попутное фрезерование
Спиральное фрезерование		Данная операция позволяет обработать отверстия диаметр, которого больше допустимого сверления. Возможны две стратегии обработки: касательные дуги и спираль.

При каркасной обработке поверхность разбивается на множество небольших сегментов, по которым строится эквидистанта, соответствующая траектории движения инструмента. При этом большее значение величины сегмента приводит к большей погрешности между идеальной и теоретической поверхностью, соответственно устанавливать величину сегмента необходимо таким образом, чтобы величина погрешности не превысила значение допуска.

Выводы

В ходе экспериментального исследования были выделены наиболее эффективные стратегии обработки, такие как: ProfitMilling и каркасное фрезерование. Главным преимуществом, которого является возможность комбинирования трохоидального и движения смещения контура для создания оптимизированной траектории, предназначенной для сокращения времени цикла и увеличения срока службы инструмента.

Список литературы

1. Федоренко Ю.В. Современные стратегии и методы обработки фрезерованием, реализуемые при обработке на высокоскоростных станках с ЧПУ / Ю.В. Федоренко, А.Г. Селкин // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона. – 2012. – № 2. – С. 111-115.

2. Пономарев Б.Б. Оптимизация стратегии фрезерной обработки деталей со сложными поверхностями на трех координатных станках с ЧПУ / Б.Б. Пономарев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2003. – № 1(13). – С. 26-30.

3. Гимадеев М.Р. Формирование параметров шероховатости на основе корреляционных связей при чистовом фрезеровании пространственно-сложных поверхностей / М.Р. Гимадеев, В.М. Давыдов, А.В. Никитенко, А.В. Сарыгин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2019. – Т. 15, № 6 (174). – С. 243–248.

4. Гимадеев М.Р. Анализ систем автоматизированного обеспечения параметров шероховатости поверхности на основе динамического мониторинга / М.Р. Гимадеев, А.А. Ли // Advanced Engineering Research. – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 116–129. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-2-116-129

5. Саблин П.А. Обеспечение качества поверхности при обработке упрочненных закаленных сталей, титановых сплавов и полимерных композиционных материалов / П.А. Саблин, В.С. Щетинин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2021. – Т. 17. – № 6 (198). – С. 263–268.

6. Ведерников Д.А. Исследование высокоэффективных стратегий фрезерования / Д.А. Ведерников // Модели и методы развития технологий машиностроения в условиях цифровизации экономики России: Научные труды Высшей школы машиностроения / Под редакцией А.А. Поповича. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – С. 85-87.

УДК 621.5.09

ВНЕДРЕНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЦИФРОВЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ ПУТЁМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ (ЦОД) И МАЙНИНГОВЫХ ФЕРМ

INTRODUCTION OF GAS TURBINE TECHNOLOGIES INTO DIGITAL PROJECTS IN RUSSIA THROUGH THE POWER SUPPLY OF DATA PROCESSING CENTERS AND MINING FARMS

Анатолий Петрович Черных[1,2], Виктор Александрович Михаленко[3]
Anatoly Petrovich Chernykh[1,2], Viktor Aleksandrovich Mikhalenko[3]

[1] ООО НПП «Газэлектроприбор», Россия, Москва
[1] Research and Development enterprise «Gazelectropribor», Russia, Moscow (e-mail: g-e-p@mail.ru www.detander.com)
[2]Международная инженерная академия, Россия, Москва
[2]International Academy of Engineering, Russia, Moscow
[3]ПАО «Газпром»
[3]VAD «Gazprom»

Аннотация: Центры обработки данных требуют огромных энергозатрат. В настоящее время они составляют 3-5% от общего энергопотребления в мире и показывают стабильный рост. До 50% всей энергии, потребляемой ЦОД, расходуется на охлаждение серверных стоек и инженерных систем. Мы предлагаем революционное решение по безтопливному получению электроэнергии и холода на пунктах редуцирования давления газа.

Abstract: Data centers require huge energy demands. Currently, they account for 3-5% of the total energy consumption in the world and show stable growth. Up to 50% of total energy consumed by the data centers is spent on cooling IT cabinets and engineering systems. We provide a revolutionary solution for fuel-free power and cold generation at gas pressure reduction points.

Ключевые слова: турбодетандер, центр обработки данных, редуцирование

Keywords: turboexpander, data centers require, reduction.

В современном мире производство газотурбинной техники является стремительно эволюционирующей отраслью, сконцентрировавшей в себе наиболее высокие технологии, передовые материалы, высшие достижении конструкторской мысли. Также, одну из ключевых ролей в жизни человека играют цифровые технологии, которые успешно совершенствуют все её сферы, ускоряют промышленные процессы, повышают производительность труда и экономическую эффективность организаций. Ежедневно в мире появляются новые разработки ведущих мировых специалистов IT-отрасли. Это наше настоящее, а будущее связано со значительным увеличением потоков информации и, как следствие, строительством центров для её обработки и хранения. Рынок ЦОД сейчас растёт на 10-15% в год и имеет тенденцию к дополнительному спросу на данные объекты.

Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ (последняя редакция) устанавливает жёсткие рамки для энергопотребления и требует повышения энергетической эффективности. Одним из самых эффективных сценариев, который позволит удовлетворить эти высокие требования, является применение газотурбинных технологий для обеспечения ЦОД электроэнергией и холодом. Наряду с газотурбинными электростанциями, наиболее экономически выгодными для ЦОД являются турбодетандерные электрогенерирующие установки на базе газовых турбин, работающих на перепаде давления и не требующих сжигания углеводородов. Немаловажным экономическим фактором является попутная выработка турбодетандером холода, который насущно необходим для функционирования ЦОД, а конкретнее для охлаждения работающих компьютерных плат. Сфера электроснабжения и охлаждения ЦОД представляет значительный резерв для экономии средств и увеличения эффективности работы. Для реализации ряда задач национального проекта «Цифровая экономика» при поддержке программы правительства РФ по импортозамещению, для снижения доли импорта в ИТ-отрасли путём внедрения отечественных разработок, предлагается инновационное техническое решение по электроснабжению и охлаждению ЦОД на базе комплекса турбодетандерного оборудования.

В России в рамках реализации национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», вступившей в силу 4 июня 2019 года* идёт активное создание инфраструктуры для обеспечения развития цифровых технологий. Стратегическими задачами данной программы является развитие системы российских ЦОД, обеспечивающее

предоставление государству, бизнесу и гражданам доступных, надежных, понятных, безопасных и экономически эффективных услуг по сбору, хранению и обработке данных.

В рамках развития национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» предусмотрены следующие этапы, демонстрирующие темпы роста и развития, общий объем инвестиций и степень важности данного проекта для нашего государства:

Показатели и индикаторы	2020	2021	2022	2023	2024
	4	5	6	7	8
Мощность российских ЦОД, тыс. стойко-мест	45	50	55	65	80
Доля России в мировом объеме оказания услуг по хранению и обработке данных, %	1,5	2	3	4	5
Доля информационных систем и ресурсов органов государственной власти и местного самоуправления, перенесенных в государственную единую облачную платформу, %	40	55	55	55	55
Доля сертифицированных ЦОД, предоставляющих услуги органам государственной власти и местного самоуправления, %	30	50	70	90	100

Центры обработки данных требуют огромных энергозатрат. В настоящее время они составляют 2-3% от общего энергопотребления в мире и показывают стабильный рост. Общемировой тенденцией является строительство ЦОД в непосредственной близости от источников генерации энергии для сокращения затрат на транспортировку электроэнергии и повышения надёжности электроснабжения. Значительная доля капитальных и эксплуатационных затрат (CAPEX и OPEX) приходится на системы электроснабжения и охлаждения ЦОД. Центры обработки данных производят большое количество тепла – компьютер и системы хранения данных, которые в них находятся, превращают значительную долю входной мощности в тепло. До 50% всей энергии, потребляемой ЦОД, расходуется на охлаждение серверных стоек и инженерных систем. Чтобы оборудование исправно работало, это тепло необходимо вывести из пространства ЦОД. Задачу вывода тепла усложняет необходимость поддержания термостабильного режима работы, надлежащего качества воздуха и безопасности ЦОД. В соответствии с

СН 512-78 в помещении ЦОД должны поддерживаться оптимальные для безотказной работы оборудования параметры воздуха: температура 22±2°С и относительная влажность воздуха 50±5%. Электронное оборудование очень чувствительно к изменению температуры и относительной влажности. Чем больше температура в помещении отклоняется от оптимальной, тем меньше срок службы и надёжность функционирования сложного оборудования. Повышенная влажность может привести к коррозии электронных компонентов, пониженная влажность может привести к накоплению и разряду статического электричества, который может уничтожить или повредить оборудование или сохраненные данные. Выполнение данных требований приводит к усложнению конструкции и технологии работы и, как следствие, к дополнительным расходам.

Диапазон режимов работы газоредуцирующих объектов, при использовании данной технологии, позволяет разработать и изготовить турбодетандерные агрегаты, способные в полной мере обеспечить необходимые условия для корректной и безотказной работы информационного оборудования. Но для этого необходимо согласование технических требований и стандартов к ЦОД и к турбодетандерным агрегатам уже на этапе проектирования и разработки. Данная инновационная технология позволит вырабатывать электроэнергию и холод из перепада давления газа на пунктах его редуцирования без использования топлива.

Необходимые условия реализации проекта:

1. Строительство здания ЦОД в непосредственной близости от объекта с редуцированием газа;

2. Возможность подключения к электросети как для приёма, так и для выдачи электроэнергии;

3. Существующая внутренняя часть системы охлаждения ЦОД для подключения в эту систему от ТДУ линии хладагента с необходимыми параметрами;

4. Возможность подвода оптоволоконного кабеля.

На начальном этапе проектирования формируется оптимальная концепция построения комплексной взаимосвязанной инженерной инфраструктуры для выработки турбодетандерной установкой (ТДУ) электроэнергии и холода и их потребления ЦОДом. Также учитываются особенности территории строительства для оптимального взаимного расположения объекта газопотребления, ЦОД и ТДУ. Такое расположение обеспечит минимальные потери при передаче тепла от ЦОД к теплообменникам на выходе ТДУ. Не менее важной целью является повышение надёжности обеспечения ЦОД электроэнергией и холодом при размещении в непосредственной близости от энергоисточника (ТДУ).

Для реализации предлагаемой технологии необходимо размещать ЦОД рядом с автономными газораспределительными станциями (ГРС), газораспределительными пунктами (ГРП) или объектами, перед которыми ГРС понижают давление (ТЭЦ, ГРЭС, газопотребляющие предприятия), однако не ближе 150 метров согласно нормам безопасности.

Для функционирования электрогенерирующих ТДУ, наряду с перепадом давления, необходим подогрев газа, а также гарантированный потребитель электроэнергии. То есть такой объект как ЦОД, одновременно потребляющий электроэнергию и выделяющий тепло, которым можно подогреть газ, также насущно необходим для работы ТДУ, как и ТДУ для ЦОД. Для подобных объектов срок окупаемости внедрения ТДУ сокращается более чем в два раза, так как стоимость выработки одинакового количества энергии холода для ЦОД выше, чем энергии электрической, вследствие затрат на специальное холодильное оборудование. Одной из целей применения ТДУ на объектах ЦОД является усовершенствование технологии по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в соответствии с Федеральным законом [22] за счет внедрения на технологических объектах транспорта газа, а также на ТЭС перспективных энергосберегающих технологий и оборудования. Широкие возможности использования электроэнергии и холода ТДУ открываются для энергетических компаний, использующих на ТЭС газ.

Основным назначением ТДУ в системе газоснабжения является технологическое снижение давления транспортируемого газа на ГРС и ГРП, которое производится обычно за счет дросселирования на регуляторах давления. Альтернативой дросселированию служит снижение давления газа в турбодетандерах. Функционально ТДУ представляет собой устройство, в котором энергия потока транспортируемого природного газа преобразуется в механическую энергию в турбодетандере, а затем в электрическую энергию в генераторе. Турбодетандер является частью ТДУ, в состав которой входят также электрический генератор, теплообменники подогрева газа, регулирующая и запорная арматура, система КИП и автоматики. Существует также возможность одновременного полезного использования холода различных температурных уровней, образующегося в результате расширения потока газа в турбодетандере. Холод может применяться в холодильных установках и системах кондиционирования, в данном случае, устанавливаемых в ЦОД.

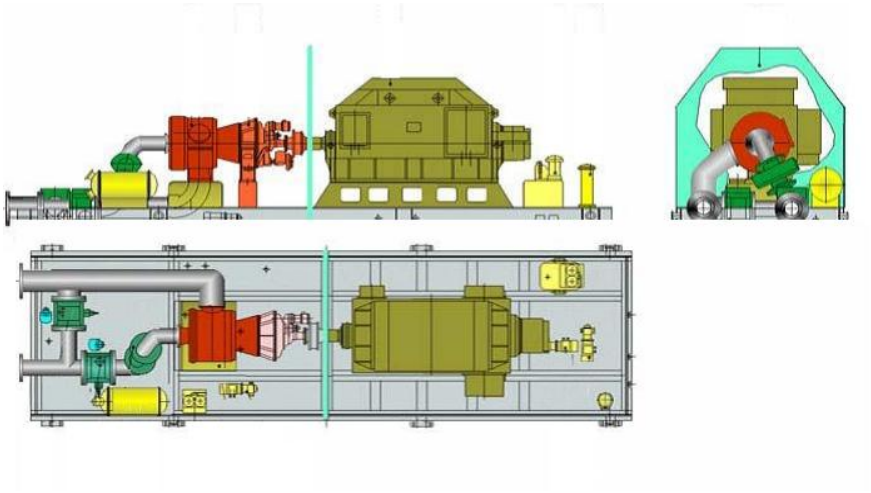


Рис.1. Электрогенерирующий турбодетандер

Газ на входе в ГРС распределяется по двум направлениям. Одна часть газа поступает, как обычно, в систему редуцирования ГРС, где его давление понижается до заданного значения. Другая часть газа по байпасу направляется в установку, проходит через запорно-регулирующую арматуру, расширяется и охлаждается на турбодетандере, проходит через теплообменник «газ – теплоноситель» и далее поступает в выходной коллектор ГРС, где происходит смешение двух потоков (рис. 3–5). Таким образом, замена процесса дросселирования на пунктах редуцирования газа турбодетандерной технологией имеет значительный положительный эффект. На приведенной h-S-диаграмме (рис. 2) показаны графики процессов, происходящих при дросселировании газового потока и при снижении давления в турбодетандере.

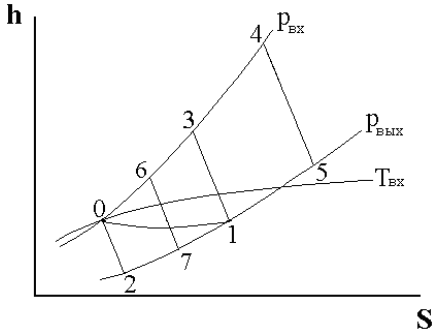


Рис 2. Процессы, происходящие в турбодетандере и при дросселировании потока

Процесс дросселирования на станции понижения давления может рассматриваться как близкий к адиабатическому. После адиабатического дросселирования энтальпия потока газа остается такой же (точка 1 на рис. 2), какой она была на входе на станцию понижения давления (точка 0). При снижении давления газа с помощью ТДУ, в соответствии с Первым началом термодинамики, энтальпия уменьшается вследствие преобразования в турбодетандере части энергии газового потока в механическую энергию. При этом возможны несколько различных вариантов организации процесса.

В процессе расширения без подогрева газа энтальпия и температура газа после турбодетандера будут значительно ниже, чем при дросселировании и физическая теплота топлива, вносимая в топку газоиспользующего оборудования, окажется меньше, чем при дросселировании, на величину, эквивалентную механической энергии, выработанной турбодетандером. Это, при прочих равных условиях, приведет к увеличению потребного расхода топлива на газоиспользующем оборудовании. Энергия, необходимая для повышения энтальпии газа до первоначального состояния в этом случае (процесс 2-1), может быть получена в теплообменнике без применения каких-либо дополнительных устройств подогрева при использовании низкопотенциальной энергии, источником которой может являться ЦОД.

Анализ термодинамических основ работы ТДУ позволяет определить роль подогрева газа в установке теплом ЦОД. Подогрев газа в ТДУ производится не только, и не столько для обеспечения необходимой температуры потока транспортируемого газа после станции технологического понижения давления. Основная роль подогрева газа определяется Первым началом термодинамики, согласно которому, в механическую работу в турбодетандере может и должна быть преобразована подведенная теплота. Без подвода теплоты к установке или, что то же самое, отвода холода, получение механической работы в турбодетандере невозможно. Вопрос эффективности работы ТДУ определяется в первую очередь тем, откуда получена подведенная теплота и какова её ценность. В классической схеме для получения теплоты необходимо специально организовать сжигание топлива, в нашем же случае может быть использована сбросная теплота, образующаяся при работе ЦОД.

В общем случае энергетическую эффективность использования ТДУ совместно с ЦОД, следует определять с учетом того, как изменяются показатели работы газопотребляющего оборудования после включения в схему ТДУ по сравнению со снижением давления газа при дросселировании. Поэтому при определении общей энергетической эффективности должны рассматриваться с одной стороны совершенство ТДУ

как отдельного устройства для производства электрической энергии и с другой стороны – степень использования тепловой энергии ЦОД при организации подогрева газа в теплообменнике для ТДУ. Очевидно, что чем больше доля тепловой энергии ЦОД при организации работы ТДУ, тем выше его энергетическая эффективность.

При работе турбодетандера возможны несколько вариантов организации подогрева за счет энергии ЦОД (см. рис. 3–5):

Газ может быть подогрет перед турбодетандером (0-3 рис. 2)

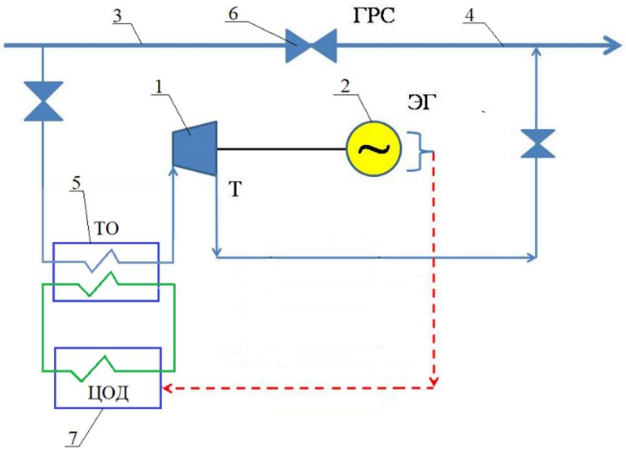


Рис. 3. Газ может быть подогрет за турбодетандером (2-1 рис. 2)

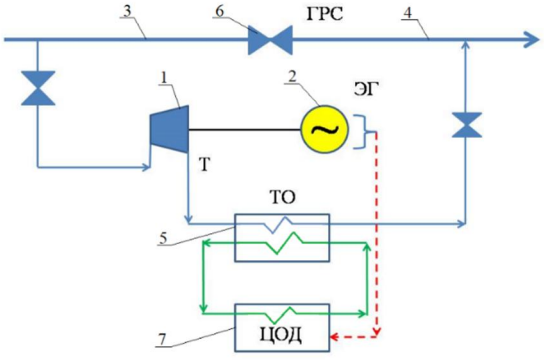


Рис. 4

3) Газ может быть частично подогрет перед турбодетандером (процесс 0-6 на рис.2), частично – после него (процесс 7-1).

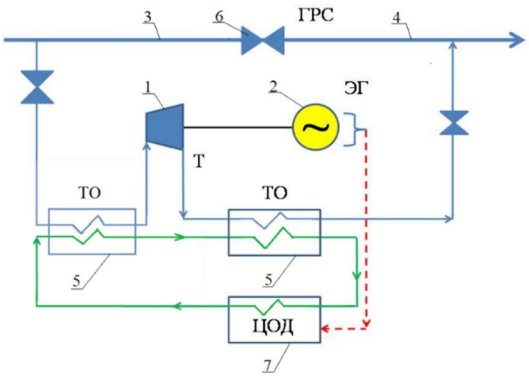


Рис. 5

Обозначения на принципиальных схемах (Рис. 3–5) включения ТДУ с подогревом газа:

1 – турбодетандер; 2 – электрогенератор; 3 – трубопроводы высокого давления; 4 – трубопроводы низкого давления; 5, 7 – теплообменник подогрева газа; 6 – регулятор давления.

В современных ЦОДах возрастает количество тепла, которое необходимо отводить от стойки. Учитывая данный тренд, всё большее развитие получают жидкостные системы охлаждения. Данная технология заключается в том, что для отвода тепла от серверов используются жидкость и специальные теплообменники, которые устанавливаются непосредственно на платы и подключаются к коллекторам. Порядка 70% тепловой нагрузки можно снять благодаря жидкостной технологии, остальное – отводить с помощью традиционного охлаждения. При этом плотность загрузки стойки и количество ИТ-шкафов можно существенно увеличить, благодаря наличию холода от турбодетандера и возможности его подвода к стойкам.

Выработанная установкой электроэнергия передается непосредственно в систему электропитания ЦОД или в электрическую сеть. Охлаждённый в теплообменнике холодным газом теплоноситель направляется в ЦОД.

Для сравнения экономических показателей эксплуатации объекта с классической технологией охлаждения и турбодетандерной рассмотрим центр обработки данных с централизованным подводом электроэнергии от сети потребляемой мощностью 10 000 кВт, 5000 кВт из которых идут на электропитание компьютерных плат, а 5000 кВт на их охлаждение.

Данные системы производят круглосуточное высокоточное поддержание заданных параметров охлаждения серверных помещений ФГУП «Гознака».

Рассчитав количество электроэнергии для стоек и системы охлаждения, получаем годовое потребление 10 000 кВт/час х 8760 часов = 87 600 000 кВт.час. При средней стоимости электроэнергии в столичном регионе 6,0 руб./кВт.час получаем стоимость потреблённой электроэнергии в год – 525 600 000 рублей.

Определим основные характеристики газораспределительной станции и турбодетандерной установки, которые необходимы для выработки 5000 кВт.час электроэнергии и такой же (5000) энергии холода. Для данного ТДУ необходимы следующие параметры газа:

Пропускная способность, м³/сут. – (2,6-5)*10⁶

Давление газа на входе, МПа – 1,2

Температура газа на входе в турбину, °С – 10-50

Степень понижения давления газа в турбине – 2-2,2

Минимальная температура газа на выходе из турбины, °С – 30

Параметры выработанной электроэнергии:

Напряжение переменного тока, кВ – 6,7/10,5

Частота тока, Гц – 50

Поскольку процесс расширения газа сопровождается понижением его температуры, то турбодетандер является также источником холода. Холодопроизводительность турбодетандера определяется теплоперепадом и расходом газа.

$Q_x = H *$=H*G_2, кВт,

где: H – действительный теплоперепад в турбодетандере, кДж/кг.

G_2 – массовый расход газа, кг/с.

Для турбодетандера электрической мощностью 5000 кВт эта величина $Q_x = H *$также составляет 5000 кВт.

Количество холода, которое может быть рационально использовано, определяется по формуле:

Q'_x =G_2 * Cp_2*(T_4-T_3), кВт, (А1)

где: G_2 – массовый расход газа, кг/с.

$Cp._2$ – средняя теплоемкость газа, кДж/кг.град

T_4 и T_3 – абсолютные температуры на входе и выходе из теплообменника, К. Разность температур (T_4 и T_3) в системах выработки и использования холода, как правило, не превышает 20⁰ на ступень. Тогда при номинальном расходе газа 71 кг/с для установки на 5000 кВт:

Q'_x = 71 * 2,23 * 20 = 3167 кДж/с = 27,49 *10⁵ккал/час

При стоимости турбодетандерной установки, равной стоимости системы охлаждения классического типа, окупаемость системы электроснабжения и охлаждения ЦОД составляет менее года, вследствие «безтопливной», экологически чистой технологии получения энергии.

Выводы

Внедрение газотурбинных турбодетандерных технологий даст возможность значительно сократить операционные затраты центров обработки данных и майнинговых ферм на электроснабжение и охлаждение.

Список литературы

1. ПАО «Газпром». Программа по внедрению турбодетандерных установок на ГРС для получения сжиженного природного газа и для выработки электроэнергии (Электронный ресурс). Режим доступа ограниченный.

2. Чигрин В.С. Конструкция компрессоров и детандеров холодильных установок. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2002. – 131 с.

3. Иванов В.Л., Леонтьев А.И., Манушин Э.А. и др. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированныхустановок. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2003. – 592 с.

4. Степанец А.А. Энергосберегающие турбодетандерные установки. – М.: Недра, 1999. – 258 с.

5. Маркетинговое исследование «Рынок ЦОД в России в 2014-2019 гг. и прогноз на 2020-2024 гг.»

References

1. Epifanova V.I. Compressor and Expansion Radial-Type Turbo Machines – A Textbook for Higher Education Institutions Majoring in Cryoengineering. Moscow, Mechanical Engineering, 1981, 367 p., illustrated. (In Russian).

2. Chigrin V.S. Construction of Compressors and Expanders of Refrigeration Units. Kharkiv, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, 2002, 131 p. (In Russian)

3. Ivanov V.L., Leontyev A.I., Manushin E.A., et al. Heat Interchange Apparatuses and Cooling Systems of Gas Turbine and Combined Units. Moscow, Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2003, 592 p. (In Russian)

4. Stepanets A.A. Energy Saving Turbo Expander Units. Moscow, Nedra, 1999, 258 p. (In Russian)

УДК 691.322

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОГО ВИБРИРОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА
THE EFFECTIVENESS OF CYCLIC VIBRATION IN THE MANUFACTURE OF FINE-GRAINED CONCRETE

Марина Степановна Борисенко[1], Ксения Владимировна Решетникова[1], Марина Алексеевна Ращупкина[1,2]
M. S. Borisenko[1], K.V. Reshetnikova[1], M.A. Raschupkina[1,2]

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», Россия, Омск
[1]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State Automobile and Road University (SibADI)", Russia, Omsk
(e-mail: marina-yhoo@mail.ru, r.kseniya.v@bk.ru, rma.sibadi@yandex.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering

Аннотация: В данной статье говорится о применении циклического вибрирования в строительной отрасли при изготовлении мелкозернистых бетонов. Этот технологический метод позволяет на стадии формования повышать свойства бетонной смеси, а, следовательно, бетонные изделия, произведенные по технологии вибропрессования будут прочными, надежными и соответствовать высокой марке бетона по ГОСТ.

Abstract: This article talks about the use of cyclic vibration in the construction industry in the manufacture of fine-grained concrete. This technological method makes it possible to increase the properties of the concrete mixture at the molding stage, and therefore concrete products produced using vibropressing technology will be durable, reliable and correspond to the high grade of concrete according to GOST.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, прочность, физико-механические свойства, вибрационное воздействие, механическое сцепление.

Key words: fine-grained concrete, strength, physical and mechanical properties, vibration effect, mechanical adhesion.

Сегодня и в будущем основной задачей строительной отрасли производства строительных материалов изделий и конструкций является применение оптимальных режимов автоматизации в управлении производственного процесса для получения мелкозернистого бетона с улучшенными физико-механическими свойствами. На данный момент в строительной отрасли большинство российских производителей занимаются вопросами усовершенствования технологических методов изготовления бетонных изделий.

Основными физико-механическими показателями мелкозернистых бетонов является прочность, морозостойкость, водонепроницаемость. Свойства бетона зарождаются на ранней стадии формирования структуры, в период перемешивания и уплотнения бетонной смеси. В свою очередь эти показатели зависят от однородности раствора и равномерного распределения компонентов смеси в структуре материала. Реализация и эффективность таких технологических возможностей достигается в условиях циклического вибрационного воздействия в момент создания первоначальной микроструктуры бетона, при его переходе из разжиженного состояния в пластичное.

Выбором режима вибрационного уплотнения бетонной смеси является амплитуда колебаний, частота колебаний и продолжительность вибрирования. Подходящая частота колебаний бетонной смеси зависит от размера ее частиц и подвижности. Мелкозернистый бетон – это смесь с мелкими фракциями заполнителя необходима высокая частота колебаний с маленькой амплитудой [1].

Для того чтобы обеспечить плотную упаковку зерен важно совершать интенсивное воздействие амплитуды колебаний, при этом происходит межзеренное перемещение. В вязкопластичной бетонной смеси содержится около 15% пустот и зерна заполнителя как бы находятся во взвешенном состоянии. Воздействие вибрации дает возможность правильно расположиться зернам в цементном тесте. Продолжительность стадии вибрирования зависит от технологии и применяемого оборудования, как правило во время формования длительность процесса составляет до 180 сек. Стадия виброуплотнения определяет необходимые свойства будущего бетона. Для продуктивности протекания процесса вибрации, виброуплотнение необходимо проводить с частой в области 40-60 Гц.

Широко применяемым оборудованием, на заводах по производству строительных материалов и изделий, является виброплощадка.

Как известно, из строительной практики на стадии уплотнения микроструктуры бетона с применением циклического вибрирования,

возникает самоуплотнение цементной системы, что позволяет существенно повысить прочностные свойства бетона. Вибрационное воздействие, как источник сжимающих усилий, способствующих сближению отдельных кристаллогидратов, создающих благоприятные условия для механического сцепления сформировавшихся клинкерных зерен, обеспечивает интенсивное формирование кристаллического агрегата в цементном тесте.

Существуют различные методы определения закономерности осуществления циклического вибрирования в момент укладки бетонной смеси, которые представлены в работах Г.Н. Пшеничного, И.Н. Ахвердова, Б.В. Гусева и многих других авторов [2–4].

Благоприятные условия механического сцепления необходимы при процессе перемешивания и формования бетонной смеси (рис. 1). Деление процесса твердения бетонной смеси происходит по типу образующихся структур, которые в свою очередь можно поделить на два периода: формирование структуры и скрепление структуры. На графике иллюстрируется кривая пластической прочности (Рт) твердеющей бетонной смеси и кривая увеличения прочности ($R_б$). Механические воздействия циклического вибрирования рекомендуется проводить в период формирования скрепления структуры, в «момент перелома» пластограммы ($T_{опт}$). Повышение физико-механических свойств бетона поясняется (рис. 1) тем, что из непрочной кристаллизационной структуры алюминатного каркаса формируются новообразования, и происходит обрастание кристалликов каркаса [4].

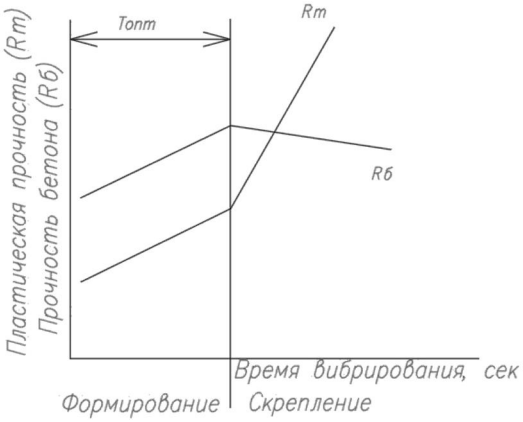


Рис. 1. Взаимосвязь момента приложения циклического вибрирования и конечной прочности мелкозернистого бетона

Проведенные опыты по изучению кинетики пластической прочности Г.Н. Пшеничного показали, что максимальные значения увеличения прочности имеют периодический, ступенчатый характер твердения, что является переходным моментом. Окончательно в процессе твердения цементно-водных систем имеются множество временных интервалов, когда целесообразно прилагать вибрационные воздействия.

Увеличение прочности дает полное основание для улучшения всех важнейших свойств бетона (прочности, плотности, долговечности, надежности). В момент осуществления вибрационного воздействия в бетонной смеси возникает формирование кристаллической микроструктуры, происходят изменения структурообразующего процесса. За счет этого происходит увеличение прочности, что и отражается соответствующей кривой в виде чередующихся скачков (рис. 2). На графике момента приложения вибрирования, замечается сначала прирост прочности, после наблюдался спад, затем дальнейшее увеличение. Предположение такого скачка можно объяснить тем, что процесс вибрирования должен проходить с периодичностью не один раз, а несколько [5].

Рис. 2. Влияние времени, в момент приложения циклического вибрирования на прочность мелкозернистого бетона

Следовательно, выше сказанному можно сказать о целесообразности применения вибрирования в строительной промышленности – по природе своего отвердевания и формирования свойств, бетонные смеси требуют дополнительного силового сопровождения в моменты изменения структуры, на стадии перехода из разжиженного состояния в пластичное.

Выводы

Представленные в данной статье теоретические исследования позволяют сформулировать вывод об эффективности применения циклической вибрации:

1) Приложение вибрационных воздействий в моменты сближения цементных зерен благоприятствует протекающему процессу, что способствует наиболее качественному уплотнению бетонной смеси и увеличению прочности бетона.

2) Период воздействия вибрирования может определяться пластометрическим способом, путем изучения динамики пластической прочности и увеличения прочности бетонной смеси, твердеющего в нормальных температурных условиях, и назначении уплотнения по времени наступления характерных переломов («переходных моментов») построенных пластограмм; для дублирования данных и захвата более широкого временного интервала опыты следует проводить на тесте с нескольким значением В/Ц (например, с В/Ц = 0,26; 0,3 и 0,34).

3) Продолжительность формирования структуры на стадии твердения составляет около 28 суток, для портландцементов с минералогическим составом: C_3S – 50...65, C_2S – 10...20, C_3A – 5...10. C_4AF – 10...20% и активными минеральными добавками (шлак, трепел) – до 55%. При использовании цементов с иным минералогическим и вещественным составами, и с различными минеральными добавками время вибрирования уточняется за счет кинетики твердения цементной системы и, тем самым, подтверждающий режим обработки [6].

4) Мелкозернистый бетон относится к ряду тяжелых бетонов, начальная подвижность такой бетонной смеси зависит от уместного количества уплотнений – максимальный результат достигается при исключительном количестве уплотнений (одно– двухразовое вибрирование). В каждом конкретном случае режим циклической активации (время приложения и количество уплотнений, продолжительность вибрирования в каждом из сроков) определяется экспериментально путем изготовления и испытания контрольных образцов или в результате отработки технологии при выпуске и испытании неразрушающими методами опытной партии изделий.

5) Механизм циклического вибрирования эффективно влияет на свойства бетона. Это объясняется связью вяжущего и заполнителя бетонной смеси, уплотнением структуры появлением различных новообразований между цементными зернами, повышением физико-механических свойств бетона, а также качества адгезионного сцепления цементного камня с поверхностью заполнителей и арматурных элементов.

Основой технологического приема служит проведение испытаний на прочность при сжатии структурообразующего процесса. Данный прием вполне включается в существующие кассетные, стендовые линии, некоторые виды конвейерных (в том числе вибропрокатных) производств, монолитное строительство технически реализуется в автоматизации процесса. Применяя в строительной промышленности циклическое вибрирование, можно поднять технологию сборного, монолитного бетона и железобетона на ступень выше, повышая качество, физико-технические свойства и надежность строительных конструкций на продолжительности всего эксплуатационного периода.

Список литературы

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2011 – 524 с.

2. Гусев Б.В., Зазимко В.Г. – Вибрационная технология бетона. 1991 – 160 с.

3. Г.Н. Пшеничный Основы технологии активированных бетонов: учеб. пособие / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар: Изд. ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2014. – 251 с.

4. И.Н. Ахвердов Теоретические основы бетоноведения. Минск: Высшая школа, 1991. – 188 с.

5. Г.Н. Пшеничный Строительные материалы и технологии: активированные бетоны: учебное пособие для вузов / Г.Н.Пшеничный – 2-е изд. испр. и доп. – Москва: издательство Юрат, 2023. – 224 с.

6. В.Н. Шишканова, М.Н. Путилова Особенности структуры мелкозернистого бетона и его преимущества / Научно-методический журнал «Наука и образование: новое время», №3, 2018г.

УДК 697.85

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ДЫМОВЫХ ТРУБ
CALCULATION AND DESIGN OF INDUSTRIAL REINFORCED CONCRETE CHIMNEYS

Сергей Борисович Шматков[1,2]
Sergey B. Shmatkov[1,2]

[1]ООО «Спецвысотстройпроект» (ООО «СВСП»), Россия, Челябинск
[1]Spetsvysotstroyproekt, LLC (LLC «SVSP»), Russia, Cheliabinsk
(expert_chel@mail.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: Рассмотрены основные принципы расчета стволов железобетонных дымовых труб и их компьютерная реализация. Предлагаются проектные решения, повышающие механическую, экологическую и промышленную безопасность.

Abstract: The main principles of calculation of reinforced concrete chimney shafts and their computer realization are considered. Design solutions that increase the mechanical, environmental and industrial safety of chimneys are proposed.

Ключевые слова: железобетонные дымовые трубы, нелинейные расчеты, мониторинг состояния.

Keywords: reinforced concrete chimneys, non-linear calculation, condition monitoring.

В России эксплуатируется две с половиной тысячи монолитных железобетонных труб высотой более 100 м [1]. Самая высокая в мире труба построена в СССР на Экибастузской ГРЭС-2 и имеет высоту 420 м. Высота дымовых труб определяется технологическими и экологическими требованиями. Тенденция строительства высотных дымовых труб в обозримом будущем будет сохраняться. В соответствии с нормами проектирования [2, 3] железобетонные трубы необходимо рассчитывать по деформированной схеме с учетом дополнительных изгибающих моментов от собственного веса, вызванных изгибом ствол трубы от воздействия ветровых нагрузок, нелинейных деформаций бетона и арматуры. В такой постановке задача расчета стволов железобетонных дымовых труб решалась В.И.Мурашевым [4] более семидесяти лет назад.

Впоследствии его решение, ориентированное на расчет «вручную», с некоторыми модификациями вошло в инструктивные документы [5, 6]. Использование для бетона и арматуры нелинейных зависимостей между напряжениями и деформациями и применение вычислительной техники позволяет получить универсальный способ расчета железобетонных стволов дымовых труб в соответствии с изложенными принципами.

Расчетная схема ствола трубы принимается в виде защемленного в основании стрежня кольцевого поперечного сечения. Каждое расчетное сечение условно разбивается на n фрагментов бетона и m фрагментов арматуры. Разбиение проводится по толщине стенки и в кольцевом направлении (рис. 1). Продольную ось Z располагают на оси ствола трубы, плоскость YZ совмещают с плоскостью изгиба стержня.

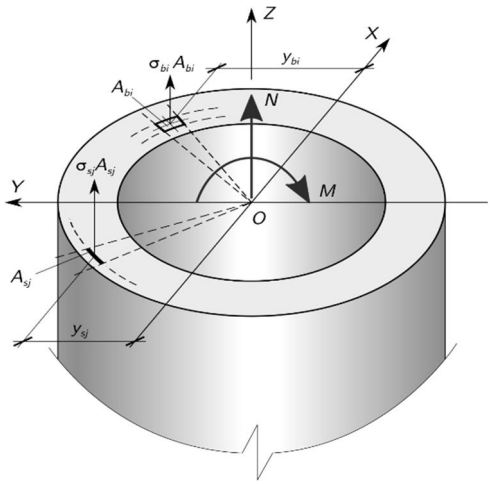


Рис. 1. Расчетная схема горизонтального сечения ствола.

Принимается, что деформации подчиняются гипотезе плоских сечений:

$$\varepsilon_{\Sigma} = e_{\Sigma} + æ_{\Sigma} y \,, \qquad (1)$$

где ε_{Σ} – относительная деформация в направлении оси Z в рассматриваемой точке;

e_{Σ} – относительная деформация сечения в точке O (рис. 1);

$æ_{\Sigma}$ – кривизна оси стержня в рассматриваемом сечении;

y – ордината рассматриваемой точки.

При учете действия температуры деформации в сечении состоят из двух слагаемых:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon + \alpha\tau \,, \qquad (2)$$

где первое слагаемое относится к силовому воздействию, а второе – к температурному; α – коэффициент линейного температурного удлинения; τ – температура в рассматриваемой точке сечения.

В зависимости от материала в рассматриваемой точке сечения величины ε_Σ, ε, α могут относиться к бетону либо к арматуре и иметь соответствующий индекс b или s.

Напряжения в бетоне σ_b и арматуре σ_s в каждом фрагменте сечения определяются по формулам:

$$\sigma_b = E'_b \varepsilon_b \; ; \; \sigma_s = E'_s \varepsilon_s, \qquad (3)$$

где

$$\varepsilon_b = \varepsilon_{\Sigma b} - \alpha_b \tau \; , \; \varepsilon_s = \varepsilon_{\Sigma s} - \alpha_s \tau \; ; \qquad (4)$$

E'_b и E'_s – секущие модули деформации бетона и арматуры, рассчитываемые по диаграммам деформирования бетона и арматуры в зависимости от значений ε_b и ε_s.

В соответствии с [7, 8] рекомендуется использовать трехлинейную диаграмму для бетона и двухлинейную для арматуры (рис. 2). При соответствующем обосновании могут быть использованы иные диаграммы деформирования.

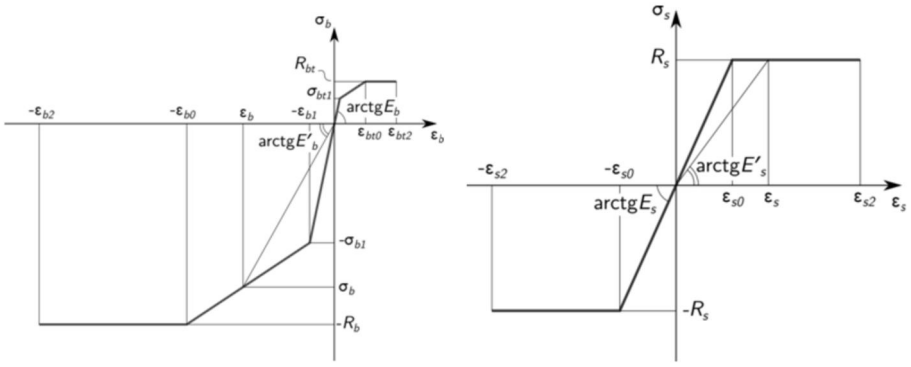


Рис. 2. Диаграммы деформирования бетона (слева) и арматуры (справа).

В случае, если сечение неоднородно по своим свойствам – конструктивно либо за счет дефектов и повреждений, параметры диаграмм деформирования (характерные точки диаграмм) для каждого из фрагментов сечения назначаются в соответствии с реальными прочностными характеристиками материала фрагмента, полученными при обследовании ствола трубы. В частности, если при выполнении поверочного расчета материал фрагмента (бетон либо арматура) поврежден настолько, что выключается из работы сечения, для этого фрагмента вместо зависимостей (3) принимается $\sigma_b \equiv 0$ либо $\sigma_s \equiv 0$.

Уравнения (1) – (4) позволяют при известных значениях ε_Σ, $æ_\Sigma$ и заданном распределении температуры в сечении определить продольную силу N и изгибающий момент M.

$$N = \sum_{i=1}^{n} \sigma_{bi} A_{bi} + \sum_{j=1}^{m} \sigma_{sj} A_{sj}\ ; \qquad (5)$$

$$M = \sum_{i=1}^{n} \sigma_{bi} y_{bi} A_{bi} + \sum_{j=1}^{m} \sigma_{sj} y_{sj} A_{sj}, \qquad (6)$$

Где σ_{bi}, σ_{sj} – напряжения соответственно в i-м фрагменте бетона и j-м фрагменте арматуры;

A_{bi}, A_{sj} – площадь соответственно i-го фрагмента бетона и j-го фрагмента арматуры;

y_{bi}, y_{sj} – ордината соответственно i-го фрагмента бетона и j-го фрагмента арматуры.

Обратная задача – определение ε_Σ и $æ_\Sigma$ при известных N и M в сечении – решается путем последовательных приближений.

Критерием трещинообразования является нарушение условия:

$$\varepsilon_b \le \varepsilon_{bt2}, \qquad (7)$$

где ε_b – силовая составляющая относительной деформации бетона при растяжении;

ε_{bt2} – предельное значение относительной деформации бетона при растяжении.

Фрагменты бетона, в которых нарушается условие (7), считаются выключившимися из работы и напряжения в них принимаются равными нулю.

Критерием разрушения бетона при сжатии является нарушение условия:

$$|\varepsilon_b| \le \varepsilon_{b2},$$

где ε_{b2} – предельное значение относительной деформации бетона при сжатии.

Критерием разрушения арматуры является нарушение условия:

$$|\varepsilon_s| \le \varepsilon_{s2},$$

где ε_{s2} – предельное значение относительной деформации арматуры.

Предельным деформациям бетона и арматуры соответствуют точки обрыва диаграмм на рис. 2.

Алгоритм расчета ствола методом последовательных приближений:

– при известных силовых воздействиях (ветровая нагрузка, собственный вес, сейсмические силы) и известном очертании оси ствола трубы из уравнений статики определяются N и M в каждом расчетном сечении трубы;

– путем последовательных приближений по формулам (1) – (6) рассчитываются ε_Σ и $æ_\Sigma$ в каждом расчетном сечении с учетом полученного из теплотехнического расчета распределения температуры в сечении;

– строится эпюра кривизны $æ_\Sigma$ по высоте трубы и, учитывая, что $æ_\Sigma = \frac{-d^2v}{dz^2}$ (v – прогиб оси ствола трубы), путем двукратного численного интегрирования эпюры кривизны рассчитывается эпюра прогибов и после получения уточненного очертания оси ствола возвращаются к уточнению N и M в каждом расчетном сечении трубы с учетом изменения эксцентриситета нагрузки на ствол от собственного веса.

Рис. 3. Дымовая труба H=275 м Красноярской ТЭЦ-1.

Процесс последовательных приближений продолжается до сходимости всех рассчитываемых величин.

По этому алгоритму в ООО «СВСП» разработана компьютерная программа, которая прошла тщательное тестирование, сертификацию и применяется при проектировании железобетонных дымовых труб, а также при выполнении поверочных расчетов при обследовании.

Железобетонные дымовые трубы, как правило, относятся к сооружениям класса КС-3, т.е. повышенного уровня ответственности [9]. Их проектирование должно выполняться с научно-техническим сопровождением и предусматривать технический мониторинг при возведении и эксплуатации.

Дымовые трубы являются стационарными источниками выбросов загрязняющих веществ и должны оснащаться системами автоматического контроля выбросов. В соответствии с [3] рекомендуется контролировать следующие параметры отводимых газов: температуру, влажность, запыленность, объем и химический состав отводимых газов, а также давление (разрежение) в газоотводящем тракте.

В качестве примера приведем железобетонную дымовую трубу высотой 275 м Красноярской ТЭЦ-1, запроектированную ООО «СВСП» и построенную АО «Железобетонспецстрой» (г.Новосибирск) в 2020 г.

(рис. 3). Топливом котлов является бурый уголь. Для защиты ствола трубы от температурного и агрессивного воздействия дымовых газов предусмотрена монолитная футеровка из легкого полимерцементного армированного керамзитобетона. В отличие от традиционных кирпичных футеровок монолитные футеровки более индустриальны, долговечны, менее проницаемы. Они могут бетонироваться одновременно с несущим железобетонным стволом, что существенно ускоряет процесс строительства.

На отметке +100,000 располагается закрытая площадка для размещения приборов контроля выбросов. До этой площадки доходит грузопассажирский лифт. В связи со строительством новой дымовой трубы три старые, высотой до 120 м, были выведены из эксплуатации и демонтированы. Замена этих труб на трубу высотой 275 м позволила уменьшить концентрацию загрязняющих веществ на 25%.

Список литературы

1. Осоловский В.П. О качестве работ по экспертизе промышленной безопасности и восстановлению работоспособного состояния дымовых и вентиляционных труб. – Труды III Международного конгресса «Печетрубостроение: тепловые режимы, конструкции, автоматизация и экология».

2. СП 43.13330.2012 «Сооружения промышленных предприятий».

3. СП 375.1325800.2017 «Трубы промышленные дымовые. Правила проектирования».

4. Мурашев В.И. Новый метод расчета железобетонных дымовых труб // Строительная промышленность, 1951, № 6.

5. Инструкция по проектированию железобетонных дымовых труб. – М.: Госстойиздат, 1962.

6. ВСН 286-90/ММСС СССР «Указания по расчету железобетонных дымовых труб». – М.: 1990.

7. СП 63.13330.2017 «Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур».

8. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения».

УДК 678.025.4-540

О РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ТЕРМО-, ОГНЕСТОЙКИХ МЕТА-АРМИДНЫХ ВОЛОКОН И НИТЕЙ В РОССИИ

ON THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF INDUSTRIAL PRODUCTION OF THERMO- AND FIRE-RESISTANT META-ARMIDIC FIBERS AND FILAMENTS IN RUSSIA

Борис Владимирович Гусев[1], Николай Николаевич Мачалаба[1], Зинаида Юлиановна Козинда[2], Иван Васильевич Слугин[3]
Boris Vladimirovich Gusev[1], Nikolai Nikolaevich Machalaba[1], Zinaida Yulianovna Kozinda[2], Ivan Vasilievich Slugin[3]

[1]Российская инженерная академия
[1]Russian Academy of Engineering
(e-mail: machalaban@mail.ru)
[2]ООО «ЦНИИШП», Россия, Москва
[2]TsNIIShP LLC, Moscow, Russia
(e-mail: kozinda@rambler.ru)
[3]ООО «Арамид», Россия, г. Каменск-Шахтинский
[3]OJSC "Aramid", Russia, Kamensk-Shakhtinsky
(e-mail: slugin@termopro.com)

Аннотация: рассмотрена ситуация в стране с полным отсутствием отечественного производства термо-, огнестойких мета-арамидных волокон, приведены все мировые производители этих волокон, у которых отечественные потребители закупают указанные материалы; показаны способы решения этой научной и производственной задачи по импортозамещению.

Abstract: The situation in the country with complete absence of domestic production of thermo- and fire-resistant meta-aramid fibers is considered; all the world producers of these fibers, from which domestic consumers buy these materials, are given; the ways of solving this scientific and production problem of import substitution are shown.

Ключевые слова: термо-, огнестойкие мета-арамидные волокна, научно-исследовательские работы, технология получения.

Key words: thermo-, fire-resistant meta-aramid fibers, research work, production technology.

Введение

Известно, что объем мирового производства термо-, огнестойких видов волокон составляет около 110 тыс. т/год, роль их достаточно велика – они являются основой тканей для профессиональных огнезащитных костюмов и средств индивидуальной защиты от сильного нагрева и открытого огня. Наиболее значимыми из этих волокон являются полиимидные (общая ТМ – аримид) и пара-, и мета-арамидные [1-3].

Пара-арамидные волокна производятся в основном в виде комплексной высокопрочной нити и предназначены для производства оптико-волоконных кабелей, композиционных материалов и средств баллистической защиты. Такие производства в Российской Федерации имеются.

Для специальной одежды, как правило, используются мета-арамидные волокна (типа номекс, США), которые обладают высокими функциональными характеристиками, могут быть окрашены в различные цвета и из которых производятся пряжа, ткань, трикотажное полотно и одежда. Стоимость мета-арамидных волокон значительно ниже, чем пара-арамидных нитей.

Поэтому из мета-арамидных волокон изготавливают защитную экипировку для личного состава Министерства обороны РФ, защитную одежду пожарных, металлургов, энергетиков, сварщиков, нефтяников, газовиков и работников различных профессий, связанных с экстремальными условиями труда, а также для фильтрации горячих газов на промышленных предприятиях [4-8].

Потребность в этих материалах и объемы выпуска определяются, прежде всего, их защитными свойствами. Благодаря этим, часто незаменимым качествам, экономические и другие показатели производства волокон с такими свойствами играют особую роль, так как приоритет в данном случае определяется эффективной защитой [9-12].

В настоящее время производство мета-арамидных волокон в РФ отсутствует, что ставит нашу страну в зависимость от зарубежных поставщиков, поскольку необходимо специальное разрешение от страны-производителя на поставку данных волокон, являющихся материалами двойного назначения.

При этом в нашей стране имеется реальный спрос на защитные материалы, а ежегодный объём мета-арамидных волокон и продуктов их переработки, закупаемых российскими предприятиями на мировом рынке, составляет по информации Минпромторга России около 2 000 т.

Отдельные заказчики, импортирующие такие огнестойкие волокна, давно пытаются найти способ (схему) организации отечественного производства таких специальных волокон.

В сентябре 2018 года группой учёных на базе АО «ЦНИИШП» (г. Москва) проведено совещание по вопросу обеспечения российских производителей специальными защитными материалами, на котором была дана всесторонняя оценка сложившейся на российском рынке ситуации и намечены пути для ее изменения.

Инициативной группой учёных было принято решение о разработке технологии получения мета-арамидного термо-, огнестойкого штапельного волокна, продуктов его переработки и строительстве двух заводов по их выпуску общей мощностью 2000 т/год.

Все упомянутые работы должны быть выполнены в течение трёх – четырёх лет.

Министерство промышленности и торговли РФ в настоящее время проводит подготовительные работы по организации льготного заемного финансирования из средств Фонда развития промышленности, а также оказанию мер государственной поддержки при реализации указанного коммерческого проекта федерального значения.

С другой стороны, Российская инженерная академия (РИА) готовит большую комплексную программу по развитию разных отраслей отечественной промышленности, её модернизации, повышению конкурентоспособности, обеспечению импортозамещения, приуроченную к году Инженера России в 2024 году. Рассмотрение и обсуждение этой большой программы РИА намечено в Администрации Президента Российской Федерации под председательством помощника Президента Российской Федерации, д. ф-м. н. господина Фурсенко А.А. в первом квартале текущего года.

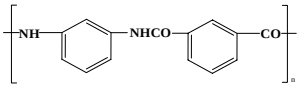
Естественно, что рассматриваемый нами стратегически важный государственный проект по разработке технологии получения мета-арамидного термо-, огнестойкого штапельного волокна, нитей, продуктов их переработки и строительству двух заводов по их выпуску является составной частью указанной комплексной программы РИА.

О мировом рынке термо-, огнестойких волокон

Термо-, огнестойкие волокна, выпускаемые мировыми компаниями, приведены в Таблице 1.

До недавнего времени безусловное лидерство среди термо -, огнестойких волокон, выпускаемых в промышленных масштабах, принадлежало волокну номекс (США). Ткани из номекса уже более тридцати лет используются в производстве термо-, огнестойкой одежды, они первыми заменили аналогичные ткани для спецодежды с химическими обработками.

Таблица 1. Мета-арамидные волокна, выпускаемые в мире.

Полимер	Название волокна, фирма и страна производитель	Линейная плотность, дтекс	Длина волокна, мм	Формула элементарного звена волокнообразующего полимера
Метаарамидное(полиметафениленизофталамидное)	Номекс *(Nomex)*, «Дюпон» *«DuPont»)*, США	*0,9; 1,7/ 2,2/5,6*	*38/51/ 76*	
	Тейджин-конекс *(Teijinconex)*, «Тейджин Арамид» *(«TeijinAramid»)*, Япония	*0,9; 1,7/ 2,2/5,6*	*38/51/ 76*	
	Нью Стар *(NewStar)*, «ЯнтайТайхо» *(«YantaiTaiho»)*, Китай	*1,7/2,2/ 5,6*	*38/51/ 76*	
	Мета Уан *(MetaOne)*, «Хьювис» *(«Huvis»)*, Южная Корея	*1,1/1,7/ 2,2/5,6*	*38/51/ 64/76*	
	Кермель *(Aramel)*, Р.Стат» (*«R. Stat»)*, Франция	1,35	38/51/64	
	Фенилон *(Fenilon)*, СССР	1,38	38/51/64	
	Метарус (*Metarus*), Россия	1,38	38/51/64/76	Планируется разработкой

Отечественным аналогом Номекса являлось волокно Фенилон, которое было разработано и выпускалось в СССР (разработчик «ВНИИСВ», г. Тверь»). Производство Фенилона было расположено в г. Кустанай (Казахстан) и в 1996 году полностью остановлено. Всё техно-

логическое оборудование производства Фенилон было продано китайской компании, которая выпускает термоогнестойкое волокно с торговой маркой Нью стар (NewStar).

На сегодняшний день рынок арамидных волокон претерпевает изменения – номекс вытесняется другими арамидными волокнами, выпуск которых в 2000-х годах освоили азиатские производители. Это, например, указанное волокно Нью стар китайской фирмы «Янтай Тайхо» и волокно Тейджин конекс (Teijinconex) японской фирмы «Тейджин Арамид».

Отдельную группу составляют пара-арамидные термо-, огнестойкие волокна с экстремальными характеристиками. Это карбоциклические высокопрочные и высокомодульные волокна зарубежного производства – Кевлар, Тварон, Херакрон, Тапаран на основе парафенилентерефталамида (ПФТА) и гетероциклические высокомодульные волокна отечественного производства Руслан, СВМ, Русар, Армос на основе полиамидобензимидазола и близких по составу сополимеров.

Способы получения термо-, огнестойких арамидных волокон и используемое сырьё

В таблице 1 настоящей работы указаны мета-арамидные волокна, выпускаемые в мире. Известно, что основные мировые производители получают термо-, огнестойкие волокна путём поликонденсации метафенилендиамина (м-ФДА) и дихлорангидрида изофталевой кислоты (ДХА ИФК) в среде растворителя диметилацетамида (ДМАА).

Принципиальные способы получения термо-, огнестойких арамидных волокон и используемое сырьё при этом приведены в Таблице 2.

Таблица 2. Способы получения термо-, огнестойких арамидных волокон и используемое сырьё

Группа волокон	Волокнообразующий полимер	Способ формования
Метаарамидные волокна		
Номекс, Конекс, Нью стар, Фенилон	Поли-м-фениленизофталамид Получают поликондесацией метафенилендиамина (м-ФДА) и дихлорангидрида изофталевой кислоты (ДХА ИФК)	Из высококонцентрированных растворов в диметилацетамиде (ДМАА), нейтрализованного гидроксидами щелочных металлов.
Кермель	Полиамидоимидное Получают поликонденсацией триметиллитового ангидрида и ароматического диамина	Сухим или мокрым способом из раствора диметилформамида (ДМФА)
Мета-, параарамидные волокна		
Тогилен	Полиамидобензимидазол (ПАБИ) на основе гетероциклического п-диамина (50% мол.), терефталоилхлорид (25% мол.), изофталоилхлорид (25% мол.).	Поликонденсация в растворе ДМАА в присутствии хлористого лития (мокрый способ)
Тверлана	Полиамидобензимидазол (ПАБИ) на основе гетероциклического п-диамина (45-15% мол.), терефталоилхлорид (50% мол.), м-фенилендиамин (5-35% мол.).	
Арлана	Полиамидобензимидазол М-2, тетрафтолоилхлорид, м-ФДА, п-ФДА	
Метарус	Мягчитель М-2, тетрафтолоилхлорид, м-ФДА, п-ФДА, Тримеллитовый ангидрид (возможно), другие мономеры	Волокно планируется разработкой

Для достижения конечной цели настоящего инвестиционного проекта – разработки технологии и последующей организации промышленного производства мощностью 2000 т/год нового современного, конкурентоспособного штапельного термо-, огнестойкого мета-арамидного волокна и продуктов его переработки необходимо выполнить ряд важных подготовительных, научно-исследовательских, проектно-конструкторских и других существенно важных работ, в том числе, включающих в себя:

– проведение научно-исследовательских работ (НИР) по разработке технологии получения нового термо-, огнестойкого мета-арамидного волокна;

– проведение научно-исследовательских, проектно-конструкторских работ (НИОКР) по получению нового термо-, огнестойкого мета-арамидного волокна;

– создание опытно-промышленной установки (ОПУ) по получению нового термо-, огнестойкого мета-арамидного волокна.

В ходе реализации этих предварительных мероприятий по настоящему проекту будет разработана технология, которая станет выгодно отличаться от технологий получения мета-арамидных волокон, выпускаемых зарубежными компаниями. Именно в этот период будет определена потребность в конкретных видах российского исходного сырья и вспомогательных материалов для промышленного выпуска термо-, огнестойкого мета-арамидного волокна с торговым названием Метарус.

В настоящее время в России сложилась следующая ситуации с исходным сырьём для выпуска термо-, огнестойких волокон:

1. ДМАА:

– используется в промышленном производстве пара-арамидных волокон;

– промышленного производства этого растворителя в РФ нет;

– поставки (закупки) по импорту осуществляет компания «Единая торговая система» (ЕТС, С-Петербург, https://utsrus.com/);

– предприятие АО «ФНЦП «Алтай» (г. Бийск, http://frpc.secna.ru/), входящее с 25 марта 2011 года в состав корпорации «МИТ» и вместе с ней в Госкорпорацию «Роскосмос», построил на территории предприятия ООО «Ангара реактив» (Иркутская область https://angrv.ru/) производство ДМАА мощностью 2 500 тонн в год;

– производство будет введено в постоянную эксплуатацию в конце 2023 - начале 2024 года.

2. м-ФДА:

– используется для синтеза мета-арамидного полимера;

– промышленного производства этого мономера в РФ нет;

– его – изомер, п-ФДА, используемый в синтезе пара-арамидного полимера, поставляется по импорту компанией ETC.

– Башкирская содовая компания» (г. Стерлитамак, https://www.soda.ru/) владеет технологией производства п-ФДА и готова организовать производство м-ФДА по договорённости с российскими заказчиками – производителями.

3. ДХА ИФК:

– Башкирская содовая компания (г. Стерлитамак) производит мономер ДХА ТФК, который используется отечественными производителями пара-арамидных волокон в синтезе полимера;

– в случае заинтересованности БСК готово доработать технологию и организовать промышленное производство ДХА ИФК.

Наиболее целесообразным представляется организация промышленного производства исходных мономеров, недостающих для синтеза полимера, на одном из новых предприятий, планирующих промышленный выпуск термо-, огнестойких мета-арамидных волокон Метарус.

Выводы

Проведён анализ мирового рынка термо-, огнестойких волокон, выпускаемых мировыми компаниями, показана ситуация в стране с полным отсутствием отечественного производства специальных мета-арамидных волокон; прописаны принципиальные способы получения термо-, огнестойких арамидных волокон и проанализирован российский рынок потребного исходного сырья.

Литература

1. Перепёлкин К.Е. Химические волокна: развитие производства, методы получения, свойства, перспективы/К.Е. Перепелкин. -СПб.: Изд.СПГУТД. - 2008. - 354 с.

2. Айзенштейн Э.М. Химические волокна в 2006 году в мире и России /Э.М. Айзенштейн// Текстильная промышленность. -2008.- №1-2, –С. 24-30.

3. Масленников К.Н. Химические волокна: Словарь-справочник. Под редакцией проф. Конкина А.А. /К.Н. Маслеников. М.:Химия. – 1973. - 192 с.

4. Айзенштейн Э.М. Волокна и ткани будущего / Э.М. Айзенштейн // Текстильная промышленность. -2006.-№6.-С.22-24.

5. Перепелкин К.Е. Современные химические волокна и перспективы их применения в текстильной промышленности / К.Е. Перепелкин //Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. -2002.-№1.-С.31-48.

6. Кричевский Г.Е. Все или почти все о текстиле/Г.Е. Кричевский. Т.1 История, настоящее, прорыв в будущее. М.: [б. и.]. -2013. – 240с. Т.2 Функционирование текстильного комплекса. М.:(б. и.). -2013.-192с.

7. Перепелкин К.Е. Сравнительный анализ термических свойств параарамидных нитей в среде воздуха и азота / К.Е.Перепелкин, А.Б. Степанова, М.А. Басюк // Изв. ВУЗов. Технология текстильной промышленности. -2008.-№2.-С.16-17.

8. Электронный ресурс [DuPont] – http://www.dupont.com.

9. Перепелкин К.Е. Горючесть волокон и текстиля – одна из важнейших характеристик их опасности/безопасности / К.Е. Перепелкин //Изв. ВУЗов. Технология легкой промышленности. -2009.-№2.-С.22-28.

10. Волохина А.В. Модифицирование термостойких волокон/А.В. Волохина// Химические волокна. -2003.- №4- С.11-19.

11. Перепелкин К.Е. Характеристика горючести волокнообразующих полимеров, волокон и волокнистых материалов (текстиля) / К.Е. Перепелкин //Химические волокна. -2009.-№3.-С.25-33.

12. Козинда З.Ю., Подгаевская Т.А., Ерофеев О.О. Текстильные материалы с защитными свойствами. Из-во ОнтоПринт, 203 стр.

УДК 621.074

РАЗВИТИЕ РОССИЙСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ «ЭНЕРГОПЕРЕХОДА» – МЕТОДОЛОГИЯ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ
DEVELOPMENT OF RUSSIAN ENERGY IN THE CONDITIONS OF "ENERGY TRANSITION" – METHODOLOGY, GOALS AND OBJECTIVES

Евгений Геннадьевич Гашо[1,2]
Evgeny Gennadievich Gasho[1,2]

[1]Национальный исследовательский университет НИУ МЭИ, Россия, Москва
[1]National research university – MPEI, Russia, Moscow
(e-mail: gashoyg@mpei.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: Статья посвящена проблематике энергетического перехода в условиях неопределенности и растущих изменений ситуации в мировой энергетике и экономики. Стратегия энергетической трансформации для России должна учитывать не только ключевые параметры энергетического баланса страны, но и серьезные региональные различия по плотности, размерам, энергопотреблению регионов.

Abstract: The article is devoted to the problems of the energy transition in the face of uncertainty and growing changes in the situation in the world energy and economy. The energy transformation strategy for Russia should take into account not only the key parameters of the country's energy balance, but also significant regional differences in density, size, and energy consumption of regions.

Ключевые слова: энергетический переход, энергобаланс, безуглеродность, энергетическая стратегия, региональные различия, энергетическая эффективность, наилучшие доступные технологии, возобновляемая энергетика.

Keywords: energy transition, energy balance, zero carbon, energy strategy, regional differences, energy efficiency, best available technologies, renewable energy.

Современная жизнь невозможна без производства и потребления энергии. Быт, промышленность, перемещение в пространстве, – все за-

вязано на то, что кто-то где-то добывает энергетические ресурсы и превращает их в тепло или электричество. Эта мысль кажется ужасно банальной, но только до тех пор, пока вам хватает энергии. А если ее хронически мало, а вам еще и надо от нее отказаться (как сейчас Европе), вы начнете сильно нервничать.

Последствия энергетического эмбарго против России рассматриваются, как правило, с точки зрения уменьшения наших валютных доходов. Однако в них есть и другая сторона – высвобождение первичной энергии, которую мы производим. Если кто-то – США или, например, Европа – перестанет ее покупать, то куда она пойдет? Будет потреблена другой страной, которая обеспечит нам сохранение валютных поступлений? Или будет использована внутри страны? Повысит нашу энерговооруженность, а с ней и конкурентоспособность нашей промышленности, а может быть, и нашего образа жизни.

Может же так случиться, что российские города за счет дешевизны тепла и электричества станут куда более привлекательным местом для жизни, чем города Европы, где тарифы на энергию растут каждый квартал, или чем города Америки, где давно не ремонтируются старые энергетические мощности и растут риски аварий, или Арабских Эмиратов, где качество жизни прямо зависит от способности оплачивать счета за электричество.

Энергетические проблемы в мире начались не сегодня. Еще накануне распада СССР энергетикам стало очевидно, что мир вступает в длинный период нарастания энергетического дефицита, так как дешевой энергии больше нет и с каждым следующим шагом так называемая энергетическая рентабельность производства энергии EROEI опасно приближается к единице.

Случайно, но именно тогда распался СССР и советский восточный блок, и мир стал активно «поедать» энергетический ресурс соответствующих территорий и стран, прежде всего за счет снижения их энерговооруженности, то есть развала энергетической инфраструктуры и промышленности. Предполагалось, что весь этот ресурс уйдет на Запад и он расцветет. Но стала подниматься Азия, и Запад не получил и толики энергетической выгоды от крушения советского блока. А вот мы, поддавшись искушению простого решения – добывать и продавать, то, что продается, – стали крупнейшим энергетическим донором мира.

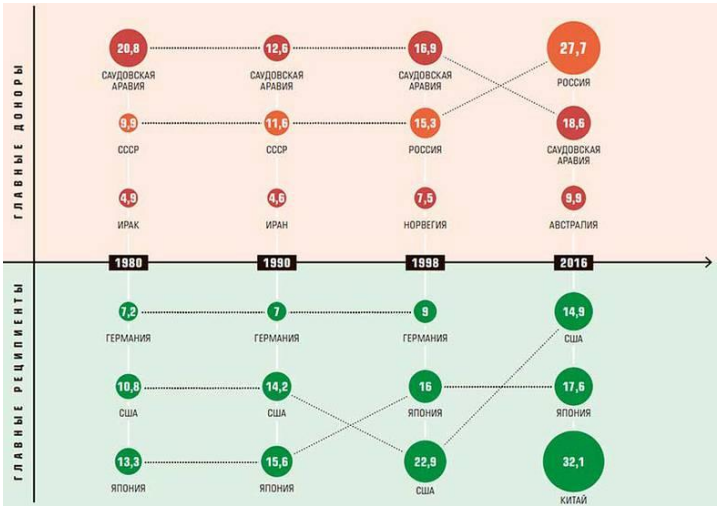


Рис. 1. Динамика изменений энергобалансов крупнейших стран мира

Да, это звучит странно, есть же еще Арабские Эмираты, Кувейт, Саудовская Аравия, но мы их всех переплюнули (рис.1). А пока мир и его политические игроки будут идти к этому пониманию своего положения, России неплохо было бы заняться своей энерговооруженностью. Из всех крупных технологически развитых стран мира только она обладает огромным профицитом энергетических ресурсов, который при использовании его для развития промышленности уже в краткосрочной перспективе обеспечивает ее экономике фундаментальные конкурентные преимущества в виде стабильной и дешевой энергии.

Комплекс изменений в основных энергоемких секторах экономики РФ: ТЭК (электроэнергетике), промышленности, теплоснабжении и распределённой генерации показан на рис.2. Помимо общего и удельного роста потребления энергии в РФ практически на 30%, мы видим взаимосвязанные изменения – снижение энергоемкости и рост энергетической эффективности, рост мощностей распределенной генерации и автономных источников тепла. Первые 15 лет после 1991 года созданная в СССР энергосистема претерпела многочисленные пертурбации и издевательства над собой и за последнее 15-летие наметились и пошли процессы обратной интеграции – сборка раздробленных кусочков в более крупные сегменты.

Рис. 2. Комплекс изменений в основных энергоемких блоках экономики РФ

Мало кто из экспертов заметил, что сегодня Россия активно переходит от энергетического выживания (6 т у.т./чел. в год) к режиму развития (~8,5 т у.т./чел. в год).

Однако нам нужно еще больше энергии поскольку нужно поднимать Донбасс, строить инфраструктуру Крыма и других российских регионов, из которых почти треть потребляет совсем мало энергии на душу населения (2-4 т у.т./чел. в год). Отсюда следует, что никаких «лишних» энергоресурсов - газа, угля или нефти у нас нет, любые энергоносители будут востребованы в парадигме активного развития.

Активно растут мощности возобновляемой энергетики в теплых и холодных регионах страны – ветро- и солнечная генерация серьезных мощностей, сотни и тысячи гибридных установок в домах, коттеджных поселках, бюджетных объектах и средних предприятиях. Пока трудно говорить о серьезной государственной поддержке этого направление, оно формируется зачастую просто «от беды».

Как же построить энергетику развития и прорыва? Может на основе инновационных решений для разных типов новых поселений (узлов развития), среди которых мы насчитали пять основных (таблица 1)? Собственно, вопроса, что важней – строительство новых мегаполисов или поселений в труднодоступных местах, транспортной инфраструктуры и т.п., нет. Нужно все вместе. Это и будет обновленная энергетическая стратегия самой большой северной страны мира.

Кроме всего прочего, наша стратегия должна учитывать наши территориальные особенности. Россия – это примерно 17 100 000 км^2.

Это примерно 35 «франций» или 43 «германии», с совершенно разной плотностью населения в разных частях страны, с разной экономикой, разным климатом и др. Соответственно, новые решения должны в полной мере учитывать это разнообразие внешних и внутренних условий.

В трех-четырех «германиях» с плотностью около 40 чел/кв км (а в Германии и Франции плотность – около 150-200 чел/кв.км) – Европейской части, Поволжья страны оптимальны централизованные системы теплоснабжения и соответствующие балансы ГРЭС, ГЭС и АЭС.

За Уралом и в Сибири – с плотностью около 1 чел/кв км мы должны создавать симбиозы централизованных систем с распределенной генерацией на местных и нетрадиционных энергоресурсах. А в Якутии и на Чукотке с плотностью 0,1-0,01 чел/кв км нужны наборы автономных гибридных систем (а том числе и мини АЭС), десятки разных наборов в зависимости от ситуации в том или ином регионе. Где-то возможно – топливные элементы на водороде. Собственно, высвобождающиеся из-за сложившейся политической ситуации приличные объемы угля, нефти и газа и есть основа этого роста и развития.

Таблица 1. Типы новых узлов развития

Тип объектов (узел развития)	**Особенности инфраструктуры**	**Источники энергии**
По переработке сырья разного типа	Производственные цепочки обогащения и переработки	Печи, электротермические агрегаты (ЭТА) с энерго-технологическим комбинированием
Транспортные узлы, связь	Автомобильные и железнодорожные трубопроводы, линии связи	Газоперекачивающие агрегаты (ГПА), газотурбинные установки (ГТУ), ТЭЦ, топливные элементы
Оборонные объекты	Заставы, военные городки, специализированные объекты	Мини-ТЭЦ, гибридные системы НВИЭ, топливные элементы
Туристические объекты (рекреация и центры валеологии)	Поселения небольшого размера, в том числе в труднодоступной местности	Мини-ТЭЦ, гибридные системы НВИЭ, топливные элементы
ВИЭ & Водород	Инфраструктура обслуживания ВИЭ разной мощности	ВИЭ разной мощности, резервные источники генерации

Но какие существуют дополнительные резервы для такого роста в разных секторах экономики? Во времена СССР только теплофикация и использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) промыш-

ленности давали вместе 55 млн т у. т. экономии (а это примерно потребление Москвы и Ленинграда), то сегодня таких резервов нет: они приватизированы и видоизменены. Проекты ГОЭЛРО-2 или -3 тоже не проходят, решения 50-70-летней давности исчерпаны, нужны новые интегральные подходы и идеи.

Это новые симбиозы традиционных ТЭР и ВИЭ, распределенных и централизованных систем. Конечно, следует добавить в список перспективных решений использование ВТГР (высокотемпературный газоохлаждаемый реактор), ПАТЭС (плавучая атомная теплоэлектростанция) и АСММ (атомная станция малой мощности), гибридные системы на нетрадиционных и возобновляемых источниках энергии (НВИЭ) для удаленных поселений.

Литература

1. Гашо Е.Г. Энергетическая и климатическая политика Москвы: поиск разумного симбиоза // Энергосбережение. 2018. №2. С.4-10.

2. Алгоритм формирования региональных программ энергосбережения. IFC. 2010 г.

3. Белобородов С.С., Гашо Е.Г., Ненашев А.В. Возобновляемые источники и водород в энергосистеме. Научное издание. – С.П., «Наукоемкие технологии». 2021 г.

УДК 621.432.3

ПОВЫШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ CHEVROLET SPARK ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕНЗО-ВОДОРОДНОЙ СМЕСИ
INCREASING THE DYNAMIC PERFORMANCE OF THE SPARK CAR BY USING A PETROL-HYDROGEN MIXTURE

Кодиров Сарвар Мукадирович[1,2],
Дадабоев Равшанбек Махамадали угли[3]
Kodirov Sarvar Mukadirovich[1],
Dadaboyev Ravshanbek Maxamadali ugli[2]

[1]Ташкентский государственный транспортный университет
Узбекистан,Ташкент
[1]Tashkent State Transport University Uzbekistan, Tashkent
(e-mail: sqodirov@mail.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering
[3]Андижанский машиностроительний институт,
Узбекистан Андижан.
[3]Andijan Machine-Building Institute Uzbekistan
(e-mail: ravshanbek.dadaboyev@mail.ru)

Аннотация: Использование альтернативных видов топлива в двигателях внутреннего сгорания остается одним из ведущих мировых научных исследований. Основная причина этого – истощение запасов нефти и рост числа потребителей. Для решения этой проблемы, необходимо использовать водородное топливо, обладающее наибольшей энергией и совместимое с природой. Это связано с тем, что водород распространен в природе и его гораздо проще преобразовать в другие виды энергии.

Abstract: The use of alternative fuels in internal combustion engines remains one of the world's leading scientific studies. The main reason for this is the depletion of oil reserves and the growing number of consumers. To solve this problem, scientists say, it is necessary to use hydrogen fuel, which has the most energy and is compatible with nature. This is due to the fact that hydrogen is common in nature and it is much easier to convert hydrogen into other types of energy.

Ключевые слова: Двигатель внутреннего сгорания, цилиндр, выхлопной газ, водородное топливо, гомогенная смесь, альтернативное

топливо, бинарная подача топлива, внешнеяя и внутренняя смесь, низкая теплота сгорания

Keywords: Internal combustion engine, cylinder, exhaust gas, hydrogen fuel, homogeneous mixture, alternative fuel, binary fuel supply, external and internal mixture, low combustion heat

Пригодность любого вида топлива для использования в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) определяется его моторными свойствами. Как водородное топливо он обладает рядом важных свойств, отличающих его от других видов топлива. Использование водорода позволяет по-новому подойти к организации рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания, значительно повысив их топливную экономичность и снизив количество вредных выбросов отработавших газов. Характеристиками рабочего процесса водородных двигателей являются предельные концентрации водород-воздушной смеси, температура, энергия и скорость сгорания, расстояние до пламени, низшая теплотворная способность на единицу массы топлива. Наиболее важные характеристики водорода приведены в табл. 1.

Таблица 1. Моторное свойства бензина и водорода

Функции	Водород	Бензин
Плотность, кг/м^3		
жидкость	70,8	700
газообразный	0,09	-
Энергия сгорания, МДж	0,02	0,25
Дальность полета, см	0,06	Выше 0,25
Температура горения, °С	630	530
Предел воспламеняемости, % по объему	4,7…74,2	0,59… 6,0
Скорость распространения пламени, м/с	около 270	около 30
Тепловая энергия, КДж/кг	120 000	43 930
Количество воздуха, необходимое на 1 кг топлива, кг/кг	34,2	14,95
Энергетическая ценность горючей смеси при α = 1:	3 180	3 710
рабочая смесь и воздух, кДж/м^3	1,34 ·10^4	-
рабочее вещество и кислород, кДж/кг		
Температура кипения, °С	- 252,61	32… 186
Актантного число	Около 105	76… 95
Коэффициент диффузии, см ^{2}/с	0,63	0,08

Водород является одним из самых энергоэффективных топлив, при более низкой теплоте сгорания, чем у нефтяных топлив (42 700 кДж/кг для дизеля и 43 930 кДж/кг для бензина). кг) почти в 3 раза выше,

т.е. 120 000 кДж/кг. При использовании водородного топлива в ДВС мощность двигателя значительно ниже при том же размере цилиндра и степени сжатия. Для предотвращения этого необходимо, чтобы коэффициент избытка воздуха, необходимый для сжигания водорода α>1, был высоким, а рабочая смесь должна готовиться на улице. Если рабочая смесь готовится внутри цилиндра, то произойдет самовозгорание водорода. Уравнение горения водорода приведено ниже.

$$2\,H_2 + O_2 = 2\,H_2O.$$

При сгорании трех вновь заряженных молекул газа образуются две молекулы продукта сгорания, в результате чего моли продуктов сгорания M_2 уменьшаются относительно числа молей нового заряда M_1. Из-за малой плотности водорода в стехиометрическом составе смеси плотность энергии водородного двигателя, в котором формируется внутренняя смесь, на 15-20% ниже, чем у бензинового двигателя. Наоборот, при образовании внешней смеси плотность энергии водородного двигателя увеличивается на 12%, что позволяет достичь более высоких значений среднего эффективного давления наддувных двигателей (до 0,85 МПа).

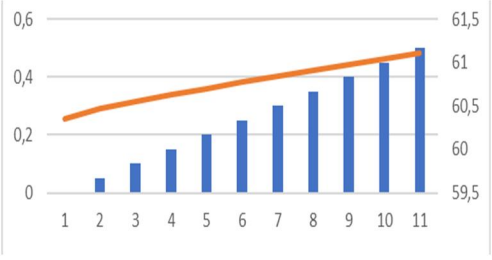


Рис. 1. В результате добавления 5%-50% водорода в двигатель автомобиля Chevrolet Spark увеличивается его мощность и крутящий момент.

Метод смешивания. При использовании водорода в качестве топлива в ДВС могут применяться формы смесеобразования вне цилиндра и внутри цилиндра. Формирование внешней смеси имеет следующие показатели, степень однородности смеси высокая, определяется такими свойствами топлива, как температурная точка и диффузионность. Водород является лучшим топливом в этом отношении, так как его температура кипения составляет -253°C и чтобы исключить наличие жидкой фазы в рабочей смеси при любых режимах работы двигателя; коэффициент диффузии водорода в 8 раз выше, чем у бензина. Можно сказать, что в атмосферных условиях водород всегда находится в газообразном состоянии, хорошо смешивающемся с воздухом. Эти свойства

водорода обеспечивают образование однородной смеси, а при приготовлении смеси он увеличивает скорость ее движения за счет изгиба и сжатия в охлаждающей и подводящей трубах, и в результате не образует пленки на поверхности из впускных труб. Если мы используем водородное топливо в ДВС, безусловно, целесообразно использовать метод внешней подготовки рабочей смеси. Ниже мы объясним один такой метод.

Одной из основных проблем при использовании бинарных (водородных и бензиновых) топлив в двигателях внутреннего сгорания является смешивание этих топлив в гомогенном состоянии. Мы предлагаем следующее решение этой проблемы.

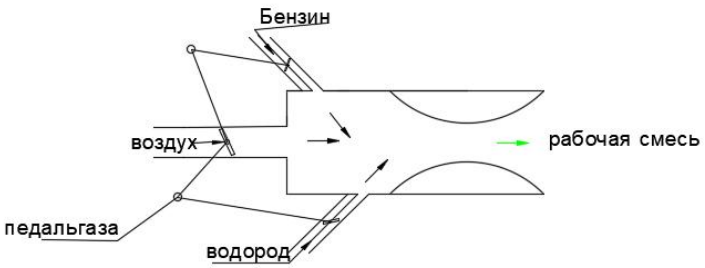


Рис. 2. Устройство смешивания бинарного (водорода и бензина) топлива

Преимущество этого устройства в том, что оно может одновременно смешивать 3 компонента и регулировать их количество в зависимости от загрузки автомобиля. Мы знаем, что водород хорошо смешивается с воздухом. Их пропускают через 1 зону воздушно-бензиново-водородной сшивки. При прохождении области 1 движение газов, известное нам из динамики жидкостей и газов, ускоряется там, где происходит их сужение и турбулентное течение. Под действием турбулентного потока рабочая смесь превращается в гомогенную. С помощью этого устройства мы решаем самые важные проблемы, такие как повторное зажигание и детонационное сгорание при использовании водородного топлива в двигателях внутреннего сгорания.

При образовании внутренней смеси (с подачей топлива в компрессионную магистраль) требования к топливу по скорости образования гомогенной смеси ужесточаются, т.к. время, отводимое на образование смеси, равно во много раз меньше. Свойства водорода лучше удо-

влетворяют этим требованиям, чем жидкие и газообразные углеводородные топлива. Водород быстро и качественно смешивается с воздухом с образованием горючей смеси за очень короткое время (менее 1 м/с).

Серийно выпускаемые ДВС могут работать на смеси бензина и водорода с небольшими модернизациями.

Добавление водородного топлива к бензиновому топливу способствует образованию высокоактивных центров химических реакций (атомов водорода) в цилиндре, снижая энергию воспламенения и расширяя пределы сгорания бензина.

Добавляя в рабочую смесь определенное количество водорода, используя высокую реакционную способность водорода, можно влиять на свойства бензин-воздушной смеси, т.е. на широкие концентрационные пределы, меньшую энергию сгорания. При добавлении в рабочую смесь 15% водорода и коэффициенте избытка воздуха α = 1,05 максимальная мощность двигателей автомобилей Spark сохраняется на уровне мощности, генерируемой при работе на бензине. При этом расход бензина снижается до 30%, а количество выхлопных газов, образующихся при сгорании оксида углерода и углеводородов, значительно уменьшается. При полном открытии дроссельной заслонки и добавлении в рабочую смесь 5% водорода при том же значении мощности расход ее топлива снижается на 11,5% и 260 г/кВт*час бензин-водорода в автомобиле Chevrolet Spark, 217 г/ч. кВтч* час при работе на бензине. Аналогичная дроссельная заслонка наблюдается и при частичном открытии. Так, при открытой дроссельной заслонке максимальная мощность составляет 66%, при этом на всех режимах работы эффективный расход топлива снижается до 14%. При α = 1,05 концентрация углеводородов в отходящих газах снижается в 2...3 раза, а концентрация оксидов углерода несколько увеличивается за счет повышения максимальной температуры цикла и наличия свободного кислорода в реакции. Выбор оптимального угла воспламенения при использовании водорода сокращает время горения, поскольку период задержки воспламенения в водороде практически отсутствует. По мере уменьшения состава топливно-воздушной смеси выделение оксидов азота может еще больше уменьшиться. Результаты испытаний двигателя автомобиля «Chevrolet Spark» показали, что при добавлении 15% водорода в рабочую смесь α = 2 двигатель работает эффективно, чего нельзя добиться при использовании бензина.

Увеличение скорости сгорания обогащенной водородом бензин-воздушной смеси увеличивает детонационную стойкость бензина. Ре-

зультаты показывают, что добавление 5% водорода в двигатель автомобиля «Chevrolet Spark» повышает детонационную стойкость бензина, т.е. степень сжатия ε = 8…10, а добавление 10% увеличивает ε = 13-15. Повышение детонационной стойкости бензинов за счет добавления водорода позволяет полностью исключить использование для этих целей тетраэтилсвинца, тем самым полностью исключая образование соединений свинца с выхлопными газами.

Добавление водорода в рабочую смесь позволяет расширить пределы концентрации горения бензин-воздушных смесей при значениях α>2, снижает содержание оксидов азота в выхлопных газах и обеспечивает качественное сгорание бедных смесей. Обогащение бензин-воздушной смеси водородом целесообразно рассматривать как увеличение доли водорода в химическом составе бензина, низшая теплоемкость сгорания 43930 кДж/кг и молекулярная масса топлива 115 кг/кмоль.

Улучшение сгорания рабочих смесей объясняется тем, что водород не активен при низких температурах и в обычных условиях, но его активность возрастает с повышением температуры водорода. Это связано с образованием атома водорода как основной среды в процессе горения наряду с другими радикалами. Скорость распространения пламени напрямую связана с концентрацией атомов водорода в среде топливно-воздушной смеси. Добавление водорода в бензин-воздушные смеси способствует расширению высокоактивных центров химических реакций и снижению энергии пламени, а также расширению пределов горения топлива. Частичная добавка газообразного водорода также значительно расширяет концентрационные пределы горения гомогенной бензин-воздушной смеси. Таким образом, для достижения нижнего предела горения α = 2 необходимо добавлять в бензин-воздушную смесь водород в массовой доле 0,03 от общего количества рабочей смеси. Варьируя количество водорода в бениз-водород-воздушной рабочей смеси, можно регулировать процесс работы двигателя и, как следствие, повышать его топливную экономичность и снижать выбросы отработавших газов.

На рис. 3 показаны различные рабочие смеси, показаны индикаторные диаграммы и основные показатели эффективности для смесей водород-бензин-воздух и бензин-воздух. Результаты были получены методом изоляции одного цилиндра в двигателе автомобиля «Chevrolet Spark», который выражал производительность топливовоздушной смеси при значениях до α = 7.

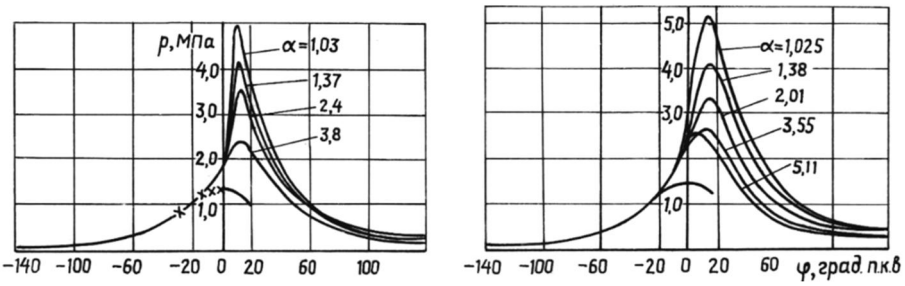


Рис. 3. Диаграммы индикаторов при работе двигателя (водорода и бензина)

Анализ представленных данных позволяет сделать вывод, что основные параметры рабочего процесса зависят от коэффициента избытка воздуха. При использовании водородного топлива в двигателях P_i – максимальное среднее эффективное давление смеси достигается при α = 1, а максимальное среднее эффективное давление должно быть при использовании бензинового топлива P_i = 0,8. Дальнейшее увеличение значения а в водородно-воздушной смеси приводит к уменьшению P_i. Максимальные значения P_i можно увидеть в кажущемся укорочении периода сгорания, что определяет динамику процесса сгорания в зависимости от обогащения смеси в бензиновых двигателях. Динамика процесса горения в водородном двигателе, где состав смесей близок к стехиометрическому, в области обогащенных смесей практически не меняется. [5, 6]

Эти свойства делают пламя водородно-воздушной смеси высоким показателем нормальной скорости диффузии. Длительность циклов горения показана зависимостью $\varphi_{вид}$ – слепого α – коэффициента избытка воздуха. Особенностью рабочего процесса водородного двигателя является то, что начальные циклы сгорания смесей, близких к стехиометрическому составу, очень малы, как и относительно небольшие изменения кажущегося цикла сгорания. Следующий фактор заключается в том, что чем короче время горения, тем выше жесткость рабочего процесса. Скорость нарастания давления водородного двигателя при α = 1 в 3 раза выше, чем у бензинового двигателя. При бедной рабочей смеси она уменьшается и при α = 1,5...1,7 приближается к значениям, присущим рабочему процессу бензиновых двигателей. Среднее показательное давление двигателя при работе на водородном топливе на 20-25% ниже, чем при работе на бензине, в связи с низкими энергетическими показателями одинакового количества водородно-воздушного заряда. При этом максимальное давление цикла будет в обоих случаях

примерно одинаковым, а максимальная температура водородного двигателя выше на 15...20% [2, 3].

Вывод

Добавление водорода в углеводородные топлива способствует образованию высокоактивных химических реакционных центров (атомов водорода), снижению энергии воспламенения и расширению пределов горения бензина, что приводит к значительному улучшению экономических и экологических характеристик двигателя. При добавлении относительно небольшого количества водорода расход бензина снижается более чем на 1/3 при сохранении максимальной мощности двигателя. Двигатели с добавлением водорода относятся к группе малотоксичных двигателей внутреннего сгорания и отвечают самым высоким требованиям по выбросам выхлопных газов без применения катализаторов.

Увеличение скорости сгорания обогащенной водородом бензовоздушной смеси способствует повышению детонационной стойкости бензина: добавление 5% водорода повышает детонационную стойкость бензина в 8...10 раз, а 10 % – в 13...15 раз. Повышается стойкость бензина к самовоспламенению за счет добавления водорода, позволяет полностью исключить добавление в бензин тетраэтилсвинца и снизить выбросы соединений свинца с отработавшими газами двигателя.

В целом можно сделать вывод о перспективности водородных присадок к бензинам, особенно на первом этапе перехода автомобильной промышленности на чистый водород. Добавление водорода не требует существенных изменений в конструкции топливной системы, где двигатель может работать только на бензине.

Список использованной литературы

1. А.И. Мишенко Применение водорода для автомобилных двигателей// Киев наука думка 1984 г

2. Исматов Ж.Ф., Джалилов Ж.Х., Файзуллаев А.Ж. Применение водорода в виде добавки автомобильных двигателях // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2021. 4(85). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11523 (дата обращения: 26.11.2021).

3. Дадабоев Р.М., Аббасов С.Ж. Перспективы использования водородного топлива в автомобилях // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2021. 3(84).

4. URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11348 (дата обращения: 26.11.2021).

5. Повышение экологической безопасности автомобилей путем добавки водорода к бензину // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Исматов Ж.Ф. [и др.]. 2021. 5(86). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11777 (дата обращения: 21.06.2022).

6. Применение водорода для автомобильных двигателей // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Исматов Ж.Ф. [и др.]. 2021. 5(86). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11829 (дата обращения: 21.06.2022).

УДК 677.076.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ДЕКОРАТИВНЫХ НЕТКАНЫХ ПОЛОТЕН
MODELING OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS IN THE DEVELOPMENT OF DECORATIVE NONWOVEN FABRICS

Федорова Наталья Евгеньевна[1,3], Разумеев Константин Эдуардович[1,3], Разумеев Николай Николаевич[2]
Fedorova Natalia E.[1,3], Razumeev Konstantin E.[1,3], Razumeev Nikolay N.[2]

[1]Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство.), Россия, Москва
[1]The Kosygin State University of Russia, Moscow
(e-mail: fedorova-ne@rguk.ru)
[2]ООО «Столица Консалт», Россия, Москва
[2]Stolitsa Consult, Ltd., Russia, Moscow
[3]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[3]Russian Engineering Academy, Russia, Moscow

Аннотация: В работе исследованы возможные варианты основ нетканых материалов для изготовления декоративных нетканых полотен и моделирование процесса для его оптимизации с помощью цифровых технологий, разработан программный продукт для математического анализа данной модели исследования.

Abstract: The paper investigates possible options for the basics of nonwovens for the manufacture of decorative nonwovens and modeling the process for its optimization using digital technologies, a software product for the mathematical analysis of this research model has been developed.

Ключевые слова: параметры процесса, моделирование, декоративные нетканые полотна, смеси волокон, эксперимент, анализ.

Keywords: process parameters, modeling, decorative nonwoven fabrics, fiber mixtures, experiment, analysis.

На сегодняшний день нетканые материалы широко востребованы в производственном секторе промышленности, в частности, в декоративных изделиях массового и индивидуального производства, критерии цена и качества удовлетворяют большую часть населения нашей страны и производителей, поэтому тема по моделирование технологи-

ческих параметров при разработке декоративных нетканых полотен является актуальной и интересной для определения наиболее технологически эффективных компонентов для изготовления данного типа нетканых полотен.

Цель исследования состояла в моделировании процессов выработки декоративных нетканых полотен.

Задачи исследования состояли из следующих этапов:

1.Разработка модели процесса для выработки декоративных нетканых полотен.

2. Планирование и проведение эксперимента по матрице РЦКЭ.

3. Разработка программы для обработки данных с применением цифровых технологий.

4. Подбор наиболее технологически эффективных компонентов для изготовления данного типа нетканых полотен.

5. Подготовить рекомендации по оптимизации технологии производства нетканых полотен для декора.

Объектами исследования в данном проекте были три варианта смесей нетканых грунтовых основ в разных долевых соотношениях для выработки декоративных нетканых полотен.

Для сравнения и выбора технологически эффективного результата было использовано ротатабельное центральное композиционное планирование, которое включает в себя три группы опытов, расположенных симметрично и на разном расстоянии от центра эксперимента. Эксперимент проведен с использованием метода математического планирования и анализа эксперимента – КОНО-2.

На начальном этапе был смоделирован процесс технологии получения декоративных нетканых полотен, выбраны компоненты для смесок.

В рамках научно-исследовательской работы по моделированию технологии проектирования декоративных нетканых полотен на кафедре «Проектирования и художественного оформления текстильных изделий» ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» разработана программа для обработки результатов ротатабельного композиционного центрального двухфакторного эксперимента на языке Mathcad Programming Language.

Программа предназначена для автоматизированной обработки результатов ротатабельного композиционного центрального эксперимента, позволяет сократить время расчетов при проведении исследований, направленных на изучение основных характеристик текстильных материалов и параметров технологических процессов. Программа опе-

ративно рассчитывает данные, полученные при проведении эксперимента, сокращает вероятность получения ошибочных данных и почти полностью исключает человеческий фактор. Производится оперативный расчет коэффициентов регрессии, дисперсии воспроизводимости, проверка значимости коэффициентов, есть возможность для выполнения пересчета исключаемых коэффициентов. Программа позволяет проверить гипотезу об адекватности полученной регрессионной модели.

Полученные образцы нетканых стелечных полотен были испытаны на физико-механические и эксплуатационные свойства в соответствии с ГОСТ: разрывная прочность по длине, разрывная прочность по ширине, удлинение при разрыве по длине, удлинение при разрыве по ширине, воздухопроницаемость. Данные по испытаниям образцов были введены в программу ЭВМ.

В качестве факторов варьирования эксперимента были следующие технологические параметры: поверхностная плотность волокнистого холста г/м^2, количество бикомпонентных волокон в смеси %.

В результате расчета на ЭВМ были получены уравнения регрессии и построены графические зависимости (поверхности отклика) для всех выходных параметров. Совместный анализ уравнений регрессии и поверхности отклика позволил выявить наиболее подходящие образцы из каждых трех смесок и подробно объяснить зависимости выходных параметров от заданных.

По результатам испытаний образцов грунтовых основ нетканых полотен были построены графические зависимости (поверхности отклика) для всех выходных параметров.

Пример нескольких визуализаций зависимостей представлены на рисунках: разрывной нагрузки по длине грунтовой основы декоративного полотна от технологических параметров (рис. 1), разрывного удлинения по длине грунтовой основы декоративного полотна от технологических параметров (рис. 2).

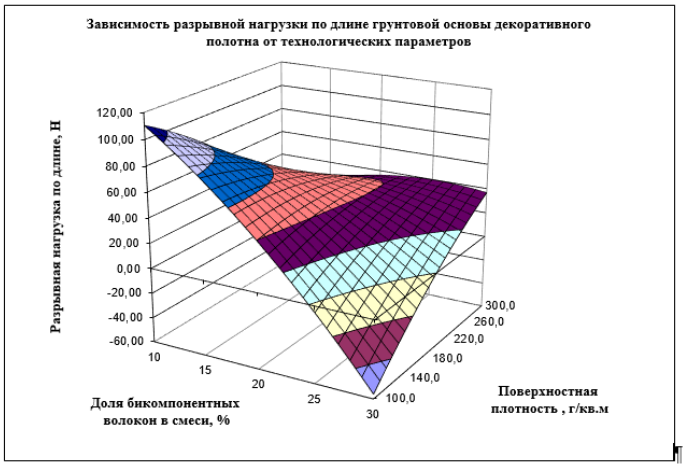


Рис. 1. Зависимость разрывной нагрузки по длине грунтовой основы декоративного полотна от технологических параметров

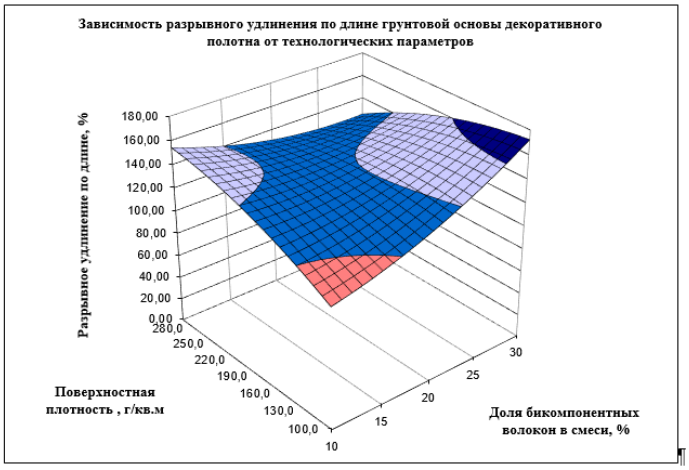


Рис. 2. Зависимость разрывного удлинения по длине грунтовой основы декоративного полотна от технологических параметров

Совместный анализ уравнений регрессий и поверхностей отклика дает возможность анализа влияния факторов на параметры процесса.

В результате проведенной работы цель исследования в моделировании процессов выработки декоративных нетканых полотен была достигнута: разработаны модели процесса для выработки декоративных нетканых полотен, разработана и апробирована программа для обработки данных с применением цифровых технологий, подобраны наибо-

лее технологически эффективные компоненты для изготовления данного типа нетканых полотен, в работе находятся рекомендации (подбор вариантов смесей для более эффективного использования в определенных условиях) по оптимизации технологии производства нетканых полотен для декора.

Список литературы:

1. Разумеев К.Э., Аниськова В.А., Федорова Н.Е., Братченя Л.А. Получение нетканых материалов для обувной промышленности // Химические волокна, 2022, №3, стр. 47-50.

2. Разумеев К.Э., Федорова Н.Е., Голайдо С.А. Дополнительное эмульсирование как возможность снижения неровноты пряжи // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 3 (399). С. 120-123.

3. Бондарчук М.М., Аниськова В.А., Федорова Н.Е. Получение нетканых полотен с гидрофобными свойствами. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5 (395). С. 122-126.

3. Шиловская Ю.Н., Федорова Н.Е. Композиционные материалы сложных структур с пропиткой. Международная научная конференция, посвященная 135-летию со дня рождения профессора В.Е. Зотикова: Сборник научных трудов (25 мая 2022 г.). Часть 3. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2022. – 136-139 с

4. Н.В. Цагарели Производство художественно-декоративных нетканых материалов. − М.: Легпромбытиздат, 1990. − 128 с.

УДК 678.7

ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОБАВОК К ЭЛАСТОМЕРАМ НА ОСНОВЕ СОПУТСТВУЮЩИХ ПРОДУКТОВ ПРОИЗВОДСТВА РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА
OBTAINING FUNCTIONAL ADDITIVES TO ELASTOMERS BASED ON RELATED PRODUCTS OF VEGETABLE OIL PRODUCTION

Виталий Вячеславович Челноков[1,2], Сергей Германович Тихомиров[1,3], Ольга Викторовна Карманова[1,3]
Vitaly V. Chelnokov[1,2], Sergey G. Tikhomirov[1,3], Olga V. Karmanova[1,3]

[1]Российская инженерная академия
[1]Russian Academy of Engineering
[2]Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Россия, Москва
[2]Mendeleev University of Chemical Technology, Russia, Moscow
[3]Воронежский государственный университет инженерных технологий Россия, Воронеж
[3]Voronezh State University of Engineering Technologies, Russia, Voronezh
(e-mail: karolga@mail.ru)

Аннотация: Рассмотрены перспективы применения технологических добавок к эластомерам, полученных на основе сопутствующих продуктов масложировой промышленности. Приведены результаты экспериментального исследования резиновых смесей с новыми добавками, применение которых обеспечивает улучшение технологических свойств. Результаты промышленной апробации новых добавок показали целесообразность их практического применения.

Abstract: Prospects for the application of technological additives to elastomers obtained based on related products of the oil industry were considered. The results of an experimental study of rubber compounds with new additives are given. It is shown that their use improves the technological properties of rubber compounds. The results of industrial testing of new additives have shown the feasibility of their practical application.

Ключевые слова: нетканые клеёные материалы, объект сушки, кинетика сушки.

Keywords: nonwoven laminated materials, the drying object, the drying kinetics.

В настоящее время прослеживается определённый интерес к использованию в составе резиновых смесей ингредиентов растительного происхождения, что обусловило широкое применение в резиновой промышленности самых разнообразных сопутствующих и побочных продуктов переработки растительного сырья. Получение функциональных добавок к эластомерам на основе таких продуктов относится к категории ресурсосберегающих технологий, основными предпосылками создания которых являются: сокращение расхода природных ресурсов, снижение экологической нагрузки на окружающую среду, существенное снижение удельных энерго- и ресурсозатрат.

Актуальность данного направления исследований подтверждается возрастанием публикаций по получению и применению в технологии эластомеров добавок на основе возобновляемых сырьевых источников сырья. Так, проведены исследования по получению жирных кислот из таллового масла – побочного продукта переработки древесины на целлюлозно-бумажных комбинатах, содержащего жирные (линолевая, олеиновая, стеариновая, пальмитиновая) и смоляные кислоты, и их использованию в качестве ингредиентов резиновых смесей [1]. Изучена возможность применения в резиновой промышленности сложных эфиров, синтезированных из растительного сырья. Разработан [2] процесс переработки жирных кислот таллового масла в продукт, представляющий собой в смесь сложных эфиров, различающихся химическим составом, непредельностью и кислотностью. Показана целесообразность замены стеариновой и олеиновой кислот на более дешевые бутиловые эфиры жирных кислот таллового масла, что позволит получать резиновые смеси и вулканизаты, не уступающие по комплексу технических показателей. Известно применение в качестве мягчителя-пластификатора для резиновых смесей госсиполовой смолы, являющейся отходом производства при переработки хлопкового масла [3]. Авторами [4] показана возможность создания активатора-диспергатора резиновых композиций на основе сопутствующего продукта производства хлопкового масла, который содержит продукт гидролиза дистилляции соапстоков хлопкового масла. Разработана технология [5-6] получения окисленных растительных масел, позволяющая получать эффективные пластификаторы-стабилизаторы на основе отходов горчичного масла для полярных полимерных композиций.

Таким образом, одним из актуальных направлений исследований, направленных на ресурсосбережение, является создание целевых добавок к эластомерам на основе сопутствующих продуктов масложировой промышленности, которые образуются в значительных количе-

ствах. В процессе производства 1 т подсолнечного масла на стадии рафинирования образуется 100–200 кг сопутствующих продуктов, содержащих жирные кислоты (преимущественно стеариновую, олеиновую). Содержание масла в отработанном фильтровальном порошке может достигать 70%, средний выход на 1 т рафинированного подсолнечного масла – до 150 кг. В Российской Федерации наиболее распространённым способом утилизации отработанных фильтровальных порошков является их захоронение на полигонах ТБО, поскольку его относят к 4 классу опасности. По данным Росстата [7] производство рафинированного подсолнечного масла и его фракций в России в 2022 году выросло на 5% по сравнению с показателем за 2021 год и составило 2,5 млн тонн.

В производстве растительных масел образуются отходы и сопутствующие продукты: отработанные фильтровальные порошки стадии рафинации (бентонит, диатомит, микроцеллюлоза), соапсток, катализаторы дегидрирования растительных жиров, смесь жирных кислот, воск технический, погоны дезодорации. Все эти продукты – потенциальное сырье для получения ингредиентов резиновых смесей различного назначения: технологических добавок, диспергаторов, мягчителей-пластификаторов, активаторов вулканизации, промоторов адгезии) [8–12].

В мировой практике для получения резиновых смесей и полуфабрикатов высокого качества используют технологические добавки, применение которых не вызывает проблем с дозированием, так как по своему агрегатному состоянию это твердые вещества с удобной выпускной формой (порошок, гранулы, крошка). Их использование позволяет сократить содержание мягчителей в резиновых смесях при сохранении продолжительности цикла смешения, увеличить скорость профилирования заготовок, увеличить производительность оборудования и снизить энергозатраты [13]. Основная часть технологических добавок изготавливается на основе нефтехимического сырья, что обусловливает их высокую стоимость и затрудняет широкое внедрение в производство [14].

Целью исследований являлось получение функциональных добавок к эластомерам на основе экологически безопасного и ежегодно возобновляемого сырья отработанного фильтровального порошка производства рафинированного подсолнечного масла.

В качестве сырья для получения новых технологических добавок ТАД-ЖК использовали отработанный фильтровальный порошок, предоставленный предприятием по выпуску рафинированного подсолнечного масла (Воронежская обл.).

Проведены исследования состава и физико-химических свойств образцов фильтровального порошка. В таблице 1 представлены средние значения по результатам испытаний 10 образцов.

Таблица 1. Результаты анализа состава и физико-химических свойств отработанного фильтровального порошка производства рафинированного подсолнечного масла

Наименование показателей	Значения
Содержание летучих соединений, % мас.	5,1
Содержание золы, % масс.	49,8
Содержание органической части % масс. – фактическое – расчетное	 45,1 48,9
Содержание свободных жирных кислот, % мас., в том числе: – стеариновая $C_{18:0}$ – олеиновая $C_{18:1}$ – линолевая $C_{18:2}$ – пальмитиновая $C_{16:0}$ – линоленовая $C_{18:3}$ – другие	 12,5 46,3 18,7 12,6 5,9 3,6 12,9
Содержание моно-, ди-, триглицеридов жирных кислот, % мас.	28,5

Анализ органической составляющей продукта с методом ГХ-МС показал, что в его составе содержатся свободные жирные кислоты (пальмитиновая, линолевая, олеиновая, стеариновая), моно-, ди-, триглицериды. Основная фракция C_{18} составляет ~ 86%.

Проведен ферментативный гидролиз отработанного фильтровального порошка и разработана рецептура ТАД-ЖК, включающая стабилизаторы и модификаторы. Синтез технологических добавок ТАД-ЖК осуществлен в обогреваемом реакторе, снабженном перемешивающим устройством в соответствии с разработанной методикой.

Полученные добавки испытаны в стандартных и серийных рецептурах широкого ассортимента резинотехнических изделий в направлениях замены мягчителей и пластификаторов нефтяного происхождения, стабилизации показателей технологических свойств и вулканизационных характеристик резиновых смесей, обеспечения высокого уровня физико-механических показателей резин.

При испытании в составе резиновой смеси для изготовления формовых изделий заменяли мягчитель масло ПН-6 на опытный продукт. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты испытаний ТАД-ЖК в рецептуре формовых изделий

Наименование ингредиентов	Содержание компонентов, масс.ч.	
	Эталон Масло ПН 6	Опытный ТАД-ЖК
Компоненты		
Изопреновый каучук	80,0	80,0
Бутадиен-стирольный каучук	20,0	20,0
Технический углерод	45,5	45,5
Масло ПН 6	5,0	-
ТАД-ЖК	-	5,0
Остальные компоненты	15,5	15,5
Наименование показателей		
Вязкость по Муни ML 1+4 (100 ºС), ед. Муни	53,6	58,7
Время подвулканизации, τ_{35}, мин	25,8	21,0
Время начала вулканизации τ_s, мин	2,4	2,1
Время оптимума вулканизации τ_{90}, мин	6,0	5,3
Условное напряжение при 300% удлинении, МПа	10,6	13,3
Условная прочность при растяжении, МПа	26,5	26,7
Относительное удлинение при разрыве, %	550	480

Анализ данных таблицы 2 показал, что при замене нефтяного масла на опытный продукт обеспечивается требуемый уровень технологических свойств резиновой смеси, при этом несколько увеличивается скорость вулканизации. При исследовании упруго-прочностных свойств вулканизатов отмечено возрастание модулей и прочности при растяжении.

В рецептуре на основе бутадиен-нитрильного каучука применяли ТАД-ЖК вместо пластификатора диоктилфталата (ДОФ), результаты испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты испытаний ТАД-ЖК в рецептуре на основе бутадиен-нитрильного каучука

Наименование показателей	Содержание компонентов, масс.ч.	
	Эталон ДОФ	Опытный ТАД-ЖК
Условное напряжение при 100% удлинении, МПа	2,1	1,9
Условное напряжение при 300% удлинении, МПа	5,2	4,1
Условная прочность при растяжении, МПа	12,8	12,2
Относительное удлинение при разрыве, %	703	739
Остаточное удлинение при разрыве, %	25	35
Твердость по Шору А, усл. ед.	64	67
Температура стеклования, °С	-23,3	-23,3

Установлено, что замена пластификатора ДОФ на опытный продукт обеспечивает высокий уровень физико-механических показателей резин и требуемый диапазон сохранения высокой эластичности, оцененный по температуре стеклования вулканизатов.

Выводы

Проведенные лабораторные и производственные испытания новых технологических добавок в резинах для изготовления широкого спектра РТИ показали целесообразность их использования для улучшения обработки резиновых смесей на оборудовании, облегчения получения полуфабрикатов, улучшения физико-механических свойств готовых изделий, а также снижения их себестоимости.

Благодарим за помощь в проведении испытаний ООО «Совтех» (г. Воронеж), НИИЭМИ (г. Москва), ООО «РПИ Курскпром», (г. Курск).

Список литературы

1. Чернова И. К. Талловое масло – перспективный источник для получения индивидуальных жирных кислот / И. Т. Чернова, Л. М. Соболева, Е. И. Филимонова, В. В. Соловьев, Б. Н. Бычков // Химическая промышленность. 2001. №7. С. 25-29.

2. Соколов Д.Л. Свойства резин, содержащих продукты переработки таллового масла / Д.Л. Соколов, В.А. Панкратов, В.В. Соловьев, М.Н. Волков // Каучук и резина. 2002. №4. С. 16-18.

3. Кадыров А.А. Технология получения модифицированного гидроизоляционного материала / А.А. Кадыров, Н.А. Кадыров, М.Т. Ходжаев // Universum: технические науки. – 2020. № 11-3(80). С. 57-59.

4. Пат. 2037503 RU. Активатор-диспергатор резиновых композиций / О.Л. Огневский, Л.Д. Суходольская, Р.М. Андреева, О.Л. Кухтицкий, В.М. Музлов, В.М. Алейник, В.А. Кузнецов, И.Ф. Горбанев, В.Н. Дорохин, О.Н. Куприянова, Т.Р. Гендлер, С.Л. Деркач, В.Н. Сорокин; заявитель и патентообладатель Волгодонский химический завод. № 5034026/05; заявл. 19.02.92; опубл. 19.06.95, Бюл. № 17.

5. Красильникова К.Ф. Пластификатор на основе отходов производства горчичного масла / К.Ф. Красильникова, Б.И. Но, В.Ф. Каблов, А.М. Огрень // Каучук и резина. 2002. - №2. С. 25-26.

6. Рахматуллина А.П. Ненасыщенные высшие жирные кислоты растительного происхождения и их серосодержащие производные в рецептурах резиновых смесей / А.П. Рахматуллина, Р.А. Ахмедьянова, Л.А. Заварихина, О.Г. Мохнаткина // Каучук и резина. 2003. –№ 1. – С.30-32.

7. Информационно-аналитическое агентство OleoScope «Анализ производства подсолнечного масла в РФ» [Электронный ресурс]. / URL: https://oleoscope.com/news/ proizvodstvo-podsolnechnogo-masla-v-rf (дата обращения 02.02.2023).

8. Рахматуллина А.П. Технологические активные добавки на основе цинковых и кальциевых солей стеариновой и олеиновой кислот и их смесей / А.П. Рахматуллина, Р.А. Ахмедьянова, А.Г. Лиакумович, Ц.Б. Портой, Е.Г. Мохнаткина, Р.И. Ильясов // Каучук и резина. 2004. № 3. С.31-35.

9. Прокопчук Н.Р., Каюшников С.Н., Вишневский К.В. Технологически активные добавки в составе эластомерных композиций // Полимерные материалы и технологии. 2016. – Т.2. № 3. С. 6-22.

10. Файзутдинов М.М., Цыганова М.Е., Рахматуллина А.П., Лиакумович А.Г., Технологические активные добавки для шинных резин. // Вестник технологического университета. – 2012. – Т.15. – С.161-164.

11. Использование сопутствующих продуктов масложировой промышленности в рецептурах резиновых смесей / Л.В. Попова, О.В. Карманова, С.Г. Тихомиров, С.И. Корыстин // Каучук и резина. – 2008. – № 4. – С. 45-46.

12. Абдразахова А.К. Использование отходов масложирового производства в технологии эластомеров / А.К. Абдразахова, С.А. Сакибаева, Г.Ж. Мамытова // Вестник науки Южного Казахстана. – 2020. – № 4(12). – С. 3-8.

13. Создание активирующих систем для эффективной вулканизации эластомеров / О.В. Карманова, Л.В. Попова, О.В.

Пойменова, Ю.К. Гусев // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2014. – № 3(61). – С. 126-129.

14. Гришин Б.С. Материалы резиновой промышленности (инф.-аналит. база данных): в 2 ч. Казань: КГТУ. – 2010. – Ч. 1. – 506 с.

УДК 538.951

ВЛИЯНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА СВЯЗНОСТИ 1-3 НА РЕЗОНАНСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
INFLUENCE OF THE 1-3 PIEZOCERAMIC COMPOSITE ARCHITECTURE ON RESONANT CHARACTERISTICS

Александр Анатольевич Панич[1,2], Анатолий Юрьевич Малыхин[1], Любовь Александровна Дыкина[1]
Alexander A. Panich[1,2], Anatoliy Yu. Malykhin[1], Lubov A. Dykina[1]

[1]Институт высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета, Россия, Ростов-на-Дону
[1]Institute of High Technologies and Piezotechnics of the Southern Federal University, Russia, Rostov-on-Don
(e-mail: malyhin@sfedu.ru)
[2]Ростовское региональное отделение Российской инженерной академии
[2] Rostov State Branch of the Russian Academy of Engineering

Аннотация: Рассмотрены различные способы получения пьезоэлектрических композитов со связностью 1-3. Экспериментально получены композиционные элементы с отличающейся архитектурой активной фазы. Показаны амплитудно-частотные и электрофизические характеристики изготовленных композитов в сравнении с монолитным пьезокерамическим элементом одинаковых линейных размеров.

Abstract: Various methods of obtaining piezoelectric composites with connectivity 1-3 are considered. Composite elements with a different architecture of the active phase have been experimentally obtained. The amplitude-frequency and electrophysical characteristics of the manufactured composites are shown in comparison with a monolithic piezoceramic element of the same linear dimensions.

Ключевые слова: композиционные элементы, композиты, пьезокомпозиты, сегнетоэлектрики, пьезокерамика.

Keywords: composite elements, composites, piezocomposites, ferroelectrics, piezoceramics.

Введение

Композиты с ориентированными пьезокерамическими элементами в полимерной матрице используются как альтернатива монолитным пьезоэлектрикам. [1-5] В пьезокомпозитах связности 1-3 достигается эффект управляемого подавления поперечных колебаний. Таким образом, использование 1-3 пьезокомпозитов находит применение в электроакустической технике (звуковидение, дефектоскопия, эхолокация). Актуальной является задача оптимизации параметров пьезопреобразователей, в основе которых лежат пьезокомпозиты.

Существует несколько способов получения 1-3 композитных элементов [1-4]:

- Резка монолитного пьезоэлемента и заполнение полимером;
- Шликерное литьё пьезокерамической заготовки с последующим спеканием и заполнением полимером;
- Последовательная сборка: матрица изготавливается отдельно методом литья или 3Д-печати, чувствительные элементы изготавливаются отдельно, после чего собирается композитный элемент;
- В рамках настоящего исследования применён первый способ получения пьезокомпозита как наиболее технологичный, однако полученные результаты могут быть достигнуты и любым другим способом.

Целью выполнения данной работы является изучение влияния внутренней архитектуры 1-3 пьезокомпозита на его характеристики.

Эксперимент

Под архитектурой пьезокомпозита нами понимается форма сечения и взаимная ориентация в пространстве чувствительных элементов. Исходя из технологических возможностей используемого оборудования вначале были рассчитаны, а затем изготовлены симметричные и упорядоченные структуры (рис. 1). При постоянной высоте пьезокомпозитов с различной архитектурой, объёмная доля пьезоэлектрической фазы соответствует выражению (1):

$$\varphi=\sum S_0/S_{об} \quad (1)$$

где S_0 – площадь единичного элемента в матрице, мм^2;

$S_{об}$ – площадь матрицы, мм^2;

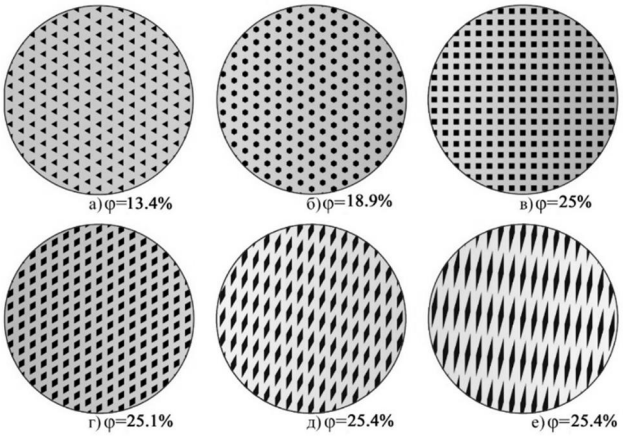


Рис. 1. Архитектура пьезокомпозитов связности 1-3 с различной площадью сечения: а) равносторонний треугольник, б) гексагон, в) квадрат, г) ромб с углом 60°, д) ромб с углом 30°, е) ромб с углом 15°

Из теоретически рассчитанных вариантов архитектуры для проведения эксперимента по изготовлению и исследованию характеристик пьезокомпозитов 1-3 были выбраны элементы с сечением треугольника, гексагона и квадрата с объёмной долей пьезоэлектрической фазы: 13,4%, 18,9% и 25% соответственно (рис. 1, а, б, в). Элементы с ромбическим сечением не использовались для построения эксперимента ввиду незначительного расхождения φ по сравнению с квадратным.

В ходе выполнения настоящего исследования изготовлены пьезокомпозиты связности 1-3 с различной архитектурой и объёмной долей пьезофазы. Процесс изготовления выглядит следующим образом. Заранее подготовленный пьезокерамический блок проходит распиловку на элементы с заданным сечением (рис. 2, а), полученная матрица элементов заливается полимерным связующим (рис. 2, б); после полного отверждения полимера композиту задают необходимую форму и размеры путём механической обработки (рис. 2, в), далее наносятся электроды на открытые поверхности пьезоэлементов (рис. 2, г).

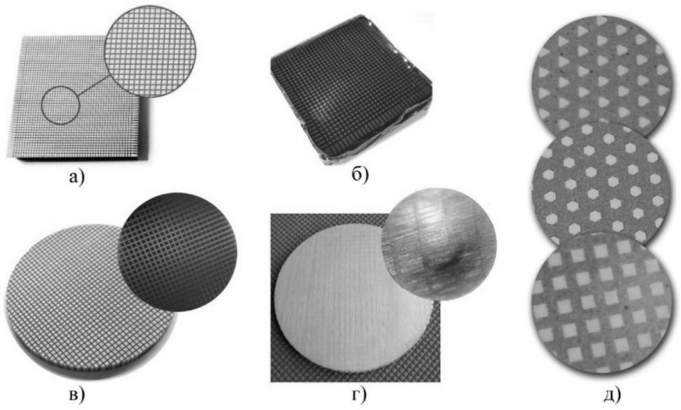


Рис. 2. Процесс изготовления 1-3 композита

На рис. 2, д показаны увеличенные фрагменты каждой из выбранных архитектур изготовленных пьезокомпозитов.

С целью оценки свойств полученных образцов был проведён амплитудно-частотный анализ с использованием цифрового измерителя RLC HIOKI 3210. Для сравнения были исследованы резонансные характеристики на монолитном блоке пьезокерамики ЦТС-19, изготовленном из той же партии материала, что и композиты. Это позволяет наглядно увидеть изменения, к которым приводит переход от монолитного пьезоэлемента к композитам.

Рис. 3 демонстрирует АЧХ монолитного пьезокерамического элемента в сравнении с пьезокомпозитами. Для монолитного элемента характерны множественные обертоны в интервале 10-200 кГц, практически полностью подавленные в композите.

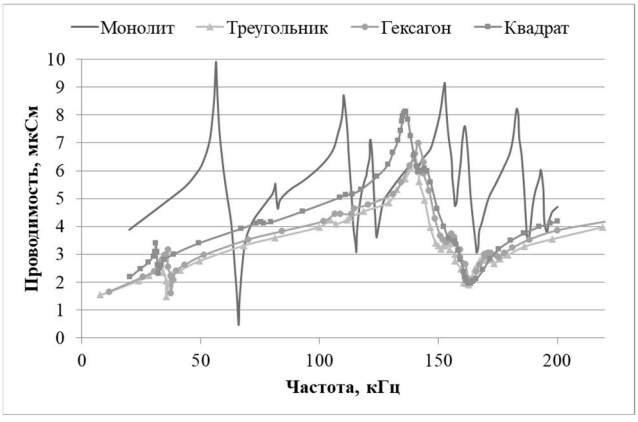


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики монолитного и композитных элементов различной архитектуры

Данная динамика свидетельствует о целесообразности использования композитов связности 1-3 в качестве чувствительных элементов в электроакустических устройствах ввиду наличия близких к линейным областей проводимости на резонансной кривой. При рассмотрении АЧХ композитов трёх видов архитектуры в диапазоне частот до 200 кГц, наблюдаются два резонанса: поперечный (радиальный) в области 50-60 кГц и продольный (толщинный) в области 120-180 кГц (рис. 3). При более детальном анализе полученных зависимостей для пьезокомпозитов различной архитектуры сохраняется тенденция к разделению толщинного и радиального резонансов. В процессе измерения характеристик изготовленных пьезокомпозитов получена таблица 1, демонстрирующая различия в свойствах элементов с разной архитектурой.

Таблица 1. Электрофизические характеристики полученных пьезокомпозитов

Архитектура	ρ, г/см^3	ρ·$V_{зв.}$	C, пФ	tgδ,%	M_u, мкВ/Па	M_q, фКл/Па	$K_р$	$K_т$	($K_т$\$K_р$)	d_{33}, пКл/Н
Монолитный пьезоэлемент	7,56	26445	1130	1,8	47	53	0,51	0,39	0,76	410
Треугольник	2,14	5311	242	2,4	360	92	0,19	0,51	2,65	280
Гексагон	2,42	5932	268	2,2	297	81	0,22	0,5	2,29	288
Квадрат	2,87	7352	360	2,4	320	125	0,26	0,6	2,32	314

Заключение

В результате проделанной работы изготовлены пьезокомпозиты связности 1-3 с различной архитектурой элементов активной фазы. Показаны амплитудно-частотные и электрофизические характеристики изготовленных композитов в сравнении с монолитным пьезокерамическим элементом одинаковых линейных размеров. Удалось достичь разделения толщинного (Кт) и радиального (Кр) коэффициентов электромеханической связи: отношение (Кт\Кр) композитных элементов превосходит монолитные пьезоэлементы в 3-3,5 раза. Примечателен также комплексный параметр (ρ·Vзв), показывающий, насколько хорошо будет согласован исследуемый элемент с рабочей средой. В этом случае пьезокомпозиты превосходят монолитные пьезоэлементы в 3,6-5 раз. Пьезокомпозиты обладают повышенными значениями чувствительности (по напряжению Mu, и по заряду Mq), однако с уменьшением объёмной доли пьезоактивной фазы в композите, снижается пьезомодуль d33 и электрическая ёмкость C.

Список литературы

1. W.A. Smith and B.A. Auld, "Modeling 1-3 composite piezoelectrics: thickness-mode oscillations," in IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 38, no. 1, pp. 40-47, Jan. 1991, doi: 10.1109/58.67833.

2. T.R. Howarth and R.Y. Ting, "Electroacoustic evaluations of 1-3 piezocomposite SonoPanel/sup TM/ materials," in IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 47, no. 4, pp. 886-894, July 2000, doi: 10.1109/58.852071.

3. L.J. Bowen and K.W. French, "Fabrication of piezoelectric ceramic/polymer composites by injection molding," ISAF '92: Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics, Greenville, SC, USA, 1992, pp. 160-163, doi: 10.1109/ISAF.1992.300651.

4. R. Gentilman et al., "SonoPanel 1-3 piezocomposite hydrophone-actuator panels," 'Challenges of Our Changing Global Environment'. Conference Proceedings. OCEANS '95 MTS/IEEE, San Diego, CA, USA, 1995, pp. 2032-2037 vol.3, doi: 10.1109/OCEANS.1995.528890.

5. Применение современных функциональных материалов в пьезотехнических устройствах, Дыкина Л.А., Малыхин А.Ю., Панич А.А., Скрылев А.В. // Современные проблемы радиоэлектроники. Материалы XXIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 127-й годовщине Дня радио. Отв. редактор Ф.В. Зандер. Красноярск, 2022. С. 548-554.

6. Управление свойствами пьезокерамического материала на основе системы цтс для устройств электроакустической техники, Малыхин А.Ю., Дыкина Л.А., Панич Е.А. // Российский химический журнал. 2020. Т. 64. № 3. С. 97-102.

7. Novel ferro-piezoceramic material to composites with improved hydrostatic parameters, Dykina L.A., Borzov P.A., Topolov V.Yu., Svirsky V.V. / 10th Anniversary International Conference on "Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications" (PHENMA 2021-2022). Rostov-on-Don - Taganrog, 2022. С. 102-103

УДК 677.074

МЕТОД ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КАК ОСНОВА РАСЧЁТА УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ЗДАНИЙ
LIFE CYCLE ASSESSMENT METHOD AS A BASIS FOR CALCULATION OF THE CARBON FOOTPRINT OF BUILDINGS

Людмила Анатольевна Опарина[1,2]
Lyudmila A. Oparina[1,2]

[1]Ивановский государственный политехнический университет
Россия, Иваново
[1]Ivanovo State Polytechnic University, Russia, Ivanovo
(e-mail: L.A.Oparina@gmail.com)
[2]Российская инженерная академия
[2]International Academy of Engineering

Аннотация: проблема снижения углеродного следа не теряет своей актуальности во всём мире. В настоящее время разработано и внедрено много различных методов расчёта данного показателя. В статье рассмотрены основные методы расчёта углеродного следа зданий. Сделан вывод о преимуществе метода оценки жизненного цикла.

Abstract: The problem of reducing the carbon footprint does not lose its relevance throughout the world. Currently, many different methods for calculating this indicator have been developed and implemented. The article discusses the main methods for calculating the carbon footprint of buildings. The conclusion about the advantages of the life cycle assessment method.

Ключевые слова: углеродный след зданий, методы расчёта, метод оценки жизненного цикла

Keywords: carbon footprint of buildings, calculation methods, life cycle assessment.

Проблема воздействия зданий на окружающую среду не теряет своей актуальности: ученые и эксперты в области строительства уже несколько десятилетий изучают анализ жизненного цикла зданий, построенных из определенных материалов: дерева, стали, бетона и других. Для поддержания комфортной среды в зданиях требуется значительное количество энергоресурсов, производство которых сопряжено с выбросами в атмосферу парниковых газов. Здания, сооружения, потребляя энергоресурсы на поддержание комфортного микроклимата, являются косвенными эмитентами CO_2 [2]. Если рассматривать в совокупности

все здания существующего жилого фонда страны, то объемы выбросов парниковых газов, образующихся при сжигании топлива на их нужды, огромны. По результатам ориентировочных расчетов, объемы этих выбросов составляют порядка 150 млн т CO_2 /год, что соизмеримо почти с половиной потенциального объема CO_2, который способна поглотить экосистема страны [2].

В настоящее время данные о количестве CO_2, эмитируемого в течение жизненного цикла зданий в Российской Федерации являются слабоструктурированными. Не разработана и не верифицированная отечественная методика определения величины углеродного следа здания.

Оценка показателей воздействия жизненного цикла за рубежом проводится по различным методикам, наиболее используемая это CML (Centre for Milieukunde). В основе методики CML лежит европейский набор экологических индикаторов. Классификация по категориям здания рассчитывается исходя из количества килограммов углерода на метр квадратный и присваивается плагином на основании проведённых расчётов. Углеродный след определяется подсчетом выделяемого углекислого газа (CO_2). Парниковые газы измеряют единым эквивалентом, равным 1 тонне выбросов CO_2. Например, 1 т метана имеет эквивалент 28 т углекислого газа, 1 т парникового газа равна 1 углеродной единице [3].

В основе методов оценки углеродного следа лежит утверждение, что углеродный след здания представляет собой две составляющие: воплощенный углерод от строительства и энергия, используемая после постройки. С точки зрения жизненного цикла здания, энергетические затраты и концентрация окиси углерода в материалах составляют около 10-20%, в то время как 80-90% соответствует энергопотреблению энергии и эмиссии углерода во время эксплуатации здания, и менее 1% энергии и углерода для демонтажа/реконструкции в конце срока службы [4].

На основе анализа различных методологических подходов к расчету углеродного следа зданий автор пришла к выводу, что методической основой целесообразно принять метод оценки жизненного цикла (ОЖЦ или LSA – life cycle assessment). Оценка жизненного цикла здания оценивает потенциальное воздействие здания на окружающую среду от начала до конца. Если учитывать срок полезного использования здания, то около половины его углеродного следа приходится на «серую» энергию – или воплощенный углерод, а другая половина – на рабочую энергию. «Серая» энергия, потребляемая на этапе строительства, приводит к единовременному выбросу воплощенного углерода: когда строительство завершено, этот объем углеродного следа больше не увеличива-

ется. С другой стороны, в процессе эксплуатации здания происходит выброс парниковых газов на протяжении всего срока службы здания. Здесь учитывается вся инфраструктура, которая использует энергию: отопление, кондиционирование воздуха, освещение, потребление бытовой техники.

LCA метод является основой в следующих стандартов:

- ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework; Экологический менеджмент – Оценка жизненного цикла – Принципы и основные критерии
- ISO 14044:2006 (Add.1:2017) Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. Экологический менеджмент – Оценка жизненного цикла – Требования и руководящие указания
- ISO/TS 14071:2014. Environmental management – Life cycle assessment – Critical review processes and reviewer competencies: Additional requirements and guidelines to ISO 14044:2006. Экологический менеджмент – Оценка жизненного цикла – Дополнительные требования и руководящие указания к ISO 14044:2006
- PAS 2050 и ISO TS 14067-2013 Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification and communication. Газы парниковые. Углеродный след продукции. Требования и руководящие указания по количественному определению и предоставлению информации (российский аналог – ГОСТ Р 56276-2014 /ISO/TS 14067: 2013). ISO 14067 устанавливает принципы, требования и руководящие указания по количественному определению углеродного следа продукции, основанному на оценке жизненного цикла в соответствии с международными стандартами серии ISO 14040, а также требования по предоставлению информации заинтересованным сторонам в виде экологических деклараций в соответствии с международными стандартами ISO 14020 и ISO 14025.
- BS EN 15978:2011 Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method. Устойчивость строительных работ. Оценка экологических характеристик зданий. Метод расчета.
- ГОСТ Р 56276-2014 /ISO/TS 14067:2013 «Газы парниковые. Углеродный след продукции. Требования и руководящие указания по количественному определению и предоставлению информации».

Однако простое суммирование показателей углеродного следа, формирующихся на различных этапах жизненного цикла зданий не в полной мере позволит оценить его реальную величину, так как, напри-

мер, изменение материалов, конструкций, инженерных систем на стадии проектирования здания, окажет влияние на технологию строительства, на эксплуатация, на периодичность проведения ремонтных работ, и таким образом, повлечёт за собой «цепь событий» и величина углеродного следа в каждом отдельном варианте развития событий будет различной. Автор глубоко убеждена, что рассчитывать величину углеродного следа целесообразно с учётом динамики жизненного цикла как здания в целом, так и составляющих его элементов. Здесь можно провести параллель с расчётом энергоёмкости жизненного цикла зданий, представленную в [5]. Доказано, что оценку затрат энергоресурсов, затрачиваемых на оценку затрат энергоресурсов на здания методологически верно производить с позиции жизненного цикла, для этого используется аппарат имитационного моделирования и принципы проектирования стохастических агрегативных систем.

Инструментом применения метода LCA для оценки углеродного следа, формирующегося на протяжении жизненного цикла зданий, может быть имитационное моделирование с использованием 3D-модели здания, созданной с использованием технологий информационного моделирования и использования плагинов для 3D программ, при помощи которых возможно проведение сценарных расчётов и оптимизационного моделирования с целевой функцией минимизации величины углеродного следа. В качестве базы показателей для расчёта можно использовать общепризнанные базы данных и инструментов, содержащих информацию о расчетных величинах воздействия различных категорий на окружающую среду: Sima Pro, Gabi, One Click LCA, IMPACT, Athena.

Для оценки величины углеродного следа зданий в региональном или страновом масштабах необходимо смоделировать полную трансформацию жилого фонда к 2050 г., используя как реновацию, так и реконструкцию с разными энергетическими стандартами. Для этого необходимо собрать базу данных по углеродному балансу строительных площадок, оценить уровни выбросов и их накопления в окружающей среде в разных регионах. На основе полученных данных разработать собственную методику расчета и провести сверку с европейскими условиями определения углеродного следа и соответствующих сумм пошлин по квотам на выбросы.

Список литературы

1. Обухова Ю.Д., Опарина Л.А. Сервис для аккумулирования и предоставления пользователям данных о выбросах парниковых газов от зданий // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК–2022): сб. материалов всероссийской (с

международным участием) молодёжной научно-технической конференции. – Иваново: ИВГПУ, 2022. – 1148 с., С. 446-448.

2. Белова С.Б., Старчикова И.Ю., Старчикова Е.С. Углеродный след: проблемы и пути решения // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 3 (105). С. 19-21.

3. Грановский Л.П. Энергосбережение и углеродный след зданий (Электронный ресурс) // https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7917 (дата обращения 30.12.2022).

4. Low Carbon Building // sciencedirect URL: https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/low-carbon-building (дата обращения: 30.12.2022).

5. Опарина Л.А. Теоретические основы процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий. Диссертация доктора технических наук. Иваново, 2016 г. 310 с.

УДК 378.046.4

АПРОБАЦИЯ ПРОГРАММЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ «РАЗВИТИЕ КРЕАТИВНОСТИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО ВУЗА»
TESTING CONTINUING TRAINING PROGRAM “DEVELOPMENT OF ENGINEERING UNIVERSITY EDUCATOR’S CREATIVITY”

Гузель Рафаэлевна Хусаинова[1], Мансур Флоридович Галиханов[1,2]
Guzel Rafaelevna Husainova[1], Mansur Floridovich Galikhanov[1,2]

[1]Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, Казань
[1]Kazan National Research Technological University, Russia, Kazan
(e-mail: english4@yandex.ru, mgalikhanov@yandex.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: Рассмотрены результаты апробации разработанной авторами программы повышения квалификации «Развитие креативности преподавателя инженерного вуза», приведены результаты анкетирования в необходимости данного курса у инженерных преподавателей и удовлетворенностью их обучением на новой программе.

Abstract: The results of testing continuing training program “Development of engineering educator’s creativity” designed by the authors are considered, the results of a survey on the need for this course among engineering educators and their content during course training are given.

Ключевые слова: креативность, инженерный преподаватель, повышение квалификации.

Keywords: creativity, engineering educator, continuing training program.

Деятельность современного преподавателя инженерного вуза должна строиться на интенсивной, творческой позиции и создании и осуществлении новых технологических процессов. Инновационная деятельность является ключевым моментом в самосовершенствовании преподавателя. Профессиональная деятельность педагога неполноценна, если она строится только как воспроизводство однажды усвоен-

ных методов работы, если в ней не используются объективно существующие возможности для достижения более высоких результатов образования, если она не способствует развитию личности самого педагога [1].

Актуальность данного исследования определяется заказом экономики и инженерной науки на творческого преподавателя, обладающего высоким уровнем готовности выпускников инженерных вузов к инновационной профессионально-педагогической деятельности, потребностью в разработке целостной системы совершенствования готовности к инновационной деятельности [2-4]. Противоречия между потребностью практики в наличии у современного преподавателя готовности к инновационной профессионально-педагогической деятельности, потребности педагога в развитии собственных творческих способностей и фрагментарностью инициатив по ее развитию в инженерных вузах, требуют разрешения этой проблемы путем включения в рамках, как отдельных курсов развития креативности, так и в составе программ профессиональной переподготовки в виде практических занятий и тренингов креативности в систему дополнительного профессионального образования [5–8].

Программа повышения квалификации «Развитие креативности преподавателя инженерного вуза» 36 часов (2 зачетные единицы) разработана по типу тренинга креативности, который подразумевает введение в основы инженерного и научного творчества в виде теории и выполнения слушателями практических заданий. Курс разработан таким образом, что охватывает все компоненты профессионально-значимых творческих способностей преподавателя, а именно, креативный, операционный, мотивационный, рефлексивный и эмоционально-волевой компоненты.

Анкетирование преподавателей позволило выявить заинтересованы ли они в развитии своих творческих способностей, есть ли у них такая потребность и необходимость. Об этом свидетельствуют вопросы анкеты и ответы слушателей на них. На вопрос «анализируете ли Вы себя и свою работу?» все преподаватели дали положительный ответ. На вопрос «хотели бы Вы развивать собственные творческие способности?» 93% ответили утвердительно, и лишь 7% не определились.

Что касается изучения преподавателями опыта других вузов для того, чтобы применить его в собственной практике преподавания, 79% ответили утвердительно, 21% не делают этого. На вопрос «следите ли Вы за педагогическими инновациями в Вашей дисциплине?» 86% преподавателей ответили утвердительно, 7% ответили «не всегда», и оставшиеся 7% не делают этого.

На вопрос «используете ли Вы инновационную методологию на занятиях (наглядность/визуализация, кейс-стади, творческие задачи, проблемное обучение, виртуальные лаборатории, интерактивные симуляторы)?», многие преподаватели ответили, что они не применяют их, так как не со всеми знакомы.

На вопрос о том, что означает «профессиональная инновационная деятельность преподавателя», слушатели ответили, что это качественное образование, творческий (нестандартный) подход в образовании, владение всеми возможными инновациями в обучении, умение гибко и творчески подходить к работе, а также целенаправленная деятельность по использованию разнообразных инноваций для повышения качества профессиональной подготовки и т.д. Все ответы преподавателей об определении профессиональной инновационной деятельности интересные и свидетельствуют о том, что готовы к развитию и для них это актуально и необходимо.

Разработанный тренинг креативности предполагает обучение в течение 9 дней при режиме 2 часа в день и включает в себя следующие модули:

Модуль 1 «Что такое творчество и как развить свои способности» включает в себя теоретическую часть, в которой слушатели знакомятся с понятием «научное творчество», компонентным составом творческих способностей и с трудами исследователей, которые занимались проблемами творчества, а также проводится совместный анализ преподавателя курса и слушателей о том, какую роль играет в профессии преподавателя инженерного вуза творческий подход. По ходу курса преподаватель применяет различные приемы обучения, для лучшего усвоения курса слушателями и сообщает о том, какой прием он использовал (например, обзор курса, рефлексивный прием «Билет на выход» и т.д.). Также данный модуль включает в себя тестирование творческих способностей слушателей.

Модуль 2 «Комплекс творческих задач и приемов их решения» начинается с того, что слушатели знакомятся с понятием «нестандартное мышление», основными идеями, которые находятся в его основе, состоящие в том, что творческое мышление – навык, который можно улучшить, и поэтому необходима практика мышления в различных упражнениях. Далее слушатели знакомятся с тринадцатью универсальными приемами решения творческих задач и выполняют практические упражнения - от занимательных до научных.

Модуль 3 «Развитие памяти и воображения слушателей» дает слушателям информацию о современных научных данных о человеческом мозге, они узнают об эффективных способах конспектирования и

усвоения информации, в частности, методах визуализации интеллект-картах, концептуальных картах обзора литературы и т.д. После теоретической части преподаватель курса проводит практическую часть «Развитие памяти и воображения».

Модуль 4 «Развитие рефлексии и умения учиться» – это четвертый модуль разработанной программы ПК. В нем слушатели знакомятся с теоретическими основами рефлексии, проходят тестирование на уровень рефлексивных умений, выполняют практические задания на развитие рефлексии, знакомятся с методами развития рефлексии студентов, включая ИКТ методологию, учатся анализировать свою дисциплину, создавать анкеты для студентов и т.д.

Модуль 5 «Кейс-стади и методы их разработки» знакомит слушателей с разновидностями кейсов, также в нем даны основные рекомендации по созданию кейсов. Далее они выполняют практикум «Как написать хороший кейс для своих студентов?» и создают собственный кейс по преподаваемой ими дисциплине.

Модуль 6 «Развитие инновационной методической культуры преподавателя» развивает операционный компонент профессионально-значимых творческих способностей. Преподаватели изучают различные методы обучения, применяемые для развития творческих способностей студентов в системе ВО: мозговой штурм, методы научного творчества, методы модерации малых групп, метод «Самое грязное место в лекции», метод «365», разработка заданий в рамках «таксономии Блума» и т.д. Изучая данный модуль, слушатели анализируют свою дисциплину и вместе с преподавателем курса составляют план тех методов, которые они применят со своими студентами.

Модуль 7 «Обзор опыта подготовки творческих специалистов в российских и зарубежных вузах» – это обзор опыта подготовки творческих специалистов в российских и зарубежных вузах. Слушатели знакомятся с опытом разработки курсовых и лабораторных работ с элементами творческого задания в КНИТУ, развития критического мышления и рефлексии в Таллиннском техническом университете, системой непрерывного формирования творческого инженерного мышления в МГИУ и т.д.

Итоговая аттестация «Круглый стол» представляет собой представление слушателями различных творческих заданий, которые они выполняли в ходе изучения апробируемого ПК.

Рассмотрим некоторые итоговые задания, которые были выполнены слушателями описанного курса – преподавателями инженерных вузов. Например, Закирова Г.З. создала электронную интеллект-карту

для студентов на английском языке для изучения темы запчасти автомобиля (рис. 1).

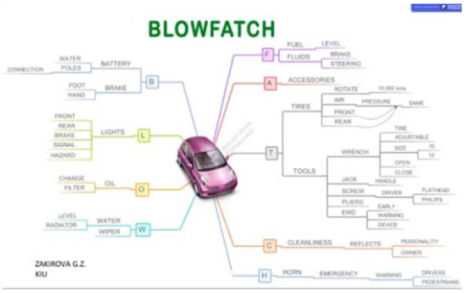


Рис. 1. Электронная интеллект-карта на английском языке для изучения темы запчасти автомобиля, составленная слушателем Закировой Г.З. для своих студентов

Мухаммадиарова Ч.Н. составила интеллект-карты по модулю 4 «Развитие рефлексии и умения учиться» и по модулю 5 «Кейс-стади и методы их разработки» с помощью онлайн ресурса для составления интеллект-карт, для лучшего усвоения информации курса.

Слушатели Арсланов И.И. и Владимиров Д.А. представили творческий проект на тему «Совершенствование аварийно-спасательных инструментов и оборудования, находящегося на вооружении в 133 ПЧ ФГКУ 8 ОФПС по РТ, их устройство, назначение и принцип действия» в рамках задания по разработке вариантов перспективной техники будущего - пожарного и аварийно-спасательного оборудования.

Преподаватели предложили вариант модернизации рукавомоечной машины для более эффективной очистки пожарных рукавов, модернизировали устройство для скатки рукава, позволяющее уменьшить его габариты и предусмотреть регулировку устройства по высоте (рис. 2, рис. 3). Установка корсетного зажима, разработанная теми же преподавателями, для ликвидации течи Б в рукавах позволяет продолжить использование поврежденного рукава при тушении пожара (рис. 2, рис. 3).

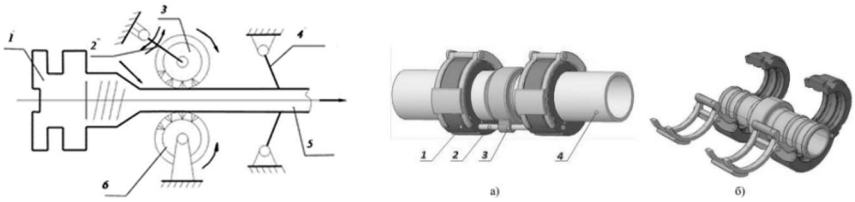


Рис. 2 и 3. Кинематическая схема рукавомоечной машины и модель разработанного корсетного зажима (Арсланов И.И., Владимиров Д.А.).

Садыкова А.Д. предложила свой вариант перспективной техники будущего – пожарной или аварийно-спасательной. Это спасательная рулетка для высотных зданий, многоквартийных жилых домов. Принцип действия рулетки – в стационарно-закрепленном механизме полимерный ремень (жгут) со спасательным жилетом в каждой квартире. При новом, строящемся доме, при установлении пожарных извещателей, устанавливать ящики с этими жгутами и жилетами, хотя это может быть и дорогостоящим для реализации.

При пожаре человек надевает данный спасательный жилет, застегивается карабином и спускается через открытое окно или балкона с помощью жгута (форму имеет в виде пружины). Жгут растягивается до нижних этажей, где встречает его служба спасения. При расформировании жгута, он автоматически аккуратно самопроизвольно складывается и поднимается в исходную точку, где возможно еще остались не эвакуированные люди.

Е.В. Байбакова, преподаватель кафедры «Компьютерного моделирования и техносферной безопасности» применила групповые методы работы со студентами при преподавании естественно-научных дисциплин (на примере экологии). Также она включила метод «Групповой пазл» при изучении темы «Мониторинг загрязнения окружающей среды». Сначала каждый участник группы получает индивидуальное задание: определить степень опасности загрязняющего вещества, которое контролируется в воздухе города, его источник выделения в атмосферный воздух, влияние на здоровье. Затем общие результаты сводятся в одну большую таблицу. Далее каждый участник предлагает комплекс мер, направленный на улучшение состояние атмосферного воздуха в городе. Участники каждой группы должны представить три наиболее важных подхода, с обоснованием их выбора. Результаты также заносятся в общую таблицу. В конце занятия - подведение итогов, рефлексия.

Выводы

Итак, апробируемый курс «Развитие креативности преподавателя инженерного вуза» был полезным, о чем свидетельствуют отзывы преподавателей. Анкетирование слушателей курса позволило выявить, что у них высокая степень заинтересованности и потребности, а также необходимости в развитии своих творческих способностей. Также анкетирование по поводу удовлетворенности обучением на курсе повышения квалификации «Развитие креативности преподавателя вуза» позволило получить 100% положительные отзывы. Анализ работ слушателей также свидетельствует о том, что они с большим интересом и мотивацией подошли к обучению на рассматриваемой программе повышения

квалификации. Таким образом, можно констатировать тот факт, что гипотеза исследования подтвердилась.

Список литературы

1. Романенко К.Н. Структура и критерии готовности педагога к инновационной деятельности / К.Н. Романенко// Молодой ученый. 2020. № 52 (342). С. 435-438.

2. Белый С.Н., Ганбаров А.Б., Пигарев А.С., Кантюков Р.Р. Положительный опыт сотрудничества при проектировании Арбузовского ПХГВ в Республике Татарстан // Газовая промышленность. 2015. № 9 (727). С. 44-45.

3. Мешалкин В.П., Бутусов О.Б., Кантюков Р.Р., Панарин В.М. Система поддержки принятия решений по управлению рисками опасных ситуаций в сложных системах газоснабжения // Программные продукты и системы. 2020. № 2. С. 250-256.

4. Кантюков Р.Р., Хадиев М.Б., Сагбиев И.Р., Егоров А.Г., Галиев Р.М., Максимов Т.В. Оценка экономической эффективности инновационной технологии перекачки газа на основе утилизации теплоты выхлопных газов ГТУ // Компрессорная техника и пневматика. 2017. № 4. С. 43-46.

5. Хусаинова Г.Р., Галиханов М.Ф. Проблемы и перспективы подготовки преподавателей инженерного вуза к инновационной профессионально-педагогической деятельности через систему дополнительного профессионального образования // Управление устойчивым развитием. 2022. № 3 (40). С. 104-113.

6. Хусаинова Г.Р., Галиханов М.Ф. Развитие творческих способностей преподавателей инженерных вузов в рамках повышения квалификации в высших учебных заведениях // Управление устойчивым развитием. 2020. № 5 (30). С. 111-118.

7. Хусаинова Г.Р., Карстина С.Г., Галиханов М.Ф. Оценка готовности преподавателей к инновационной профессионально-педагогической деятельности // Высшее образование в России. 2022. Т. 31. № 7. С. 42-60.

8. Кондратьев В.В., Вишнякова И.В., Файзуллин Р.Р., Лернер И.М., Кадушкин В.В. Подготовка преподавателей к обучению студентов с ограниченными возможностями здоровья // Казанский педагогический журнал. 2021. № 1 (144). С. 50-58.

УДК 621.983.777

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЛАКСАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ
A MODEL FOR PREDICTING THE RELAXATION RESISTANCE OF MATERIALS BY ACOUSTIC EMISSION METHOD

Надежда Александровна Бунина[1,2], Евгений Юрьевич Ремшев[1], Алексей Иванович Олехвер[1]
Nadezhda Aleksandrovna Bunina[1,2], Evgeny Yuryevich Remshev[1], Alexey Ivanovich Olekhver[1]

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Россия, Санкт-Петербург
[1]Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F. Ustinov, Russia, St. Petersburg (e-mail: remshev@mail.ru)
[2]Санкт-Петербургское отделение Российской инженерной академии, Россия, Санкт-Петербург
[2]St. Petersburg branch of the Russian Academy of Engineering, Russia, St. Petersburg

Аннотация: Рассмотрены существующие реологические модели сплошной среды под действием нагрузки. Приведен пример практического использования теоретических обобщений для определения эксплуатационных характеристик пружин ответственных механизмов с целью обеспечения и контроля их упругих характеристик.

Abstract: Existing rheological models of a continuous medium under the action of a load are considered. An example of the practical use of theoretical generalizations to determine the operational characteristics of the springs of critical mechanisms in order to ensure and control their elastic characteristics is given.

Ключевые слова: реологические модели, напряжение, деформация, эксплуатация, свойства.

Keywords: rheological models, stress, deformation, operation, properties.

При построении моделей процессов деформирования сплошную среду наделяем определенными термомеханическими свойствами. Описанием этих свойств занимается реология (от греческих слов *rheos* –течение и *logos* – учение) – наука о течении вещества. Задачей реологии

является установление зависимостей между напряженным и деформированным состояниями материала при различных условиях формоизменения. Более строго, реология устанавливает вид функциональных зависимостей:

$$T_\sigma = T_\sigma[T_\varepsilon(\tau)]t_{t0}, \quad (1)$$

$$T_\sigma = T_\sigma[T_{\varepsilon\cdot}(\tau)]t_{t0}, \quad (2)$$

где – T_σ тензор напряжений; T_ε, $T_{\varepsilon\cdot}$ – соответственно тензоры деформации и скорости деформации.

Решение этой задачи предусматривает проведение большого объема экспериментальных исследований и создание реологических моделей, позволяющих описывать термомеханические свойства материалов.

Рассмотрим простые реологические модели для случая линейного напряженного состояния.

Первая простая модель – линейно-упругая среда Гука [1] отражает свойство упругости. Уравнение состояния линейно-упругой среды имеет вид:

$$\sigma_{xx} = E\,\varepsilon_{xx}, \quad (3)$$

где E – модуль упругости, реологическая кривая представляет собой прямую линию, с которой совпадают линии нагружения и разгрузки (обратимый процесс). Механической аналогией линейно-упругой среды является пружина с линейной характеристикой и жесткостью E.

Вторая простая модель - жесткопластическая среда Мизеса [2, 3] отражает свойство пластичности, заключающееся в том, что по достижении некоторого напряжения появляется остаточная пластическая деформация. Уравнение состояния среды имеет вид $\sigma_{xx} \le \sigma_T$.

При $\sigma_{xx} < \sigma_T$ среда не деформируется. Деформация среды начинается и продолжается при $\sigma_{xx} = \sigma_T$, где σ_T - предел текучести материала. После снятия напряжения деформация среды сразу же прекращается.

Третьей простой реологической моделью среды является линейно-вязкая среда Ньютона [3], отражающая свойство вязкости. Сопротивление деформации прямо пропорционально ее скорости.

Уравнение состояния при линейном нагружении имеет вид:

$$\sigma_{xx} = \xi d\varepsilon_{xx}/dt = \xi\upsilon/l \quad (4)$$

где υ – скорость растяжения образца; l – длина образца; ξ – коэффициент вязкости.

Реологическая кривая представляет собой прямую линию, наклон которой к оси ($d\varepsilon_{xx}/dt$) определяется величиной ξ. Механической аналогией линейно-вязкой среды является невесомый поршень, перемещающийся в цилиндре, заполненном вязкой жидкостью, напряжения в этом случае зависят от скорости деформации, но не зависят от степени деформации.

При решении практических задач обработки металлов давлением, как правило, не удается с помощью простых реологических моделей достаточно адекватно описать поведение деформируемого материала. В этом случае используют сложные реологические модели, сочетающие в себе элементы рассмотренных простых моделей. Наиболее широкое применение при анализе процессов обработки давлением нашли жесткопластические упрочняющиеся, упругопластические и вязкопластические среды.

Реологическая модель жесткопластического упрочняющегося тела [4] предполагает, что в начальный момент времени, пока напряжения не достигли некоторого значения, тело ведет себя как жесткое, а затем деформируется пластически при непрерывном нарастании напряжений.

Жесткопластические среды с упрочнением широко используют при анализе процессов холодной штамповки, сопровождающихся большими пластическими деформациями, значительно превосходящими упругие. К числу таких процессов относится холодное выдавливание, объемная штамповка, высадка и т.д. В том случае, когда упругими деформациями нельзя пренебречь, используют модели идеального упругопластического тела, упрочняющегося по линейной и нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями.

Установлено, что деформирование материалов при больших температурах сопровождается проявлением вязких свойств. Учесть вязкие свойства позволяют упруговязкие и вязкопластические среды. Рассмотрим наиболее простые из них.

Упруговязкие среды образуются комбинациями упругого и вязкого элементов. Упруговязкая среда Максвелла [3] соответствует последовательному соединению упругого и вязкого элементов:

$$d\varepsilon_{xx}/dt - I/E\ d\sigma_{xx}/dt + \sigma_{xx}/\xi \qquad (5)$$

Рассмотрим некоторые свойства этой среды.

Если напряжения постоянны ($\sigma_{xx} = const$), то $d\sigma_{xx}/dt = 0$ и материал течет подобно вязкой жидкости. Если принять, что концы стержня закреплены и деформация равна нулю, а в момент времени $t = 0$ приложено напряжение $\sigma_{xx}(t) = \sigma_{xx}(0)$. В этом случае $d\varepsilon_{xx}/dt = 0$ и

уравнение (5) принимает вид $I/E\ d\sigma_{xx}/dt + \sigma_{xx}/\xi = 0$. Откуда получим: $\sigma_{xx} = \sigma_{xx}(0)exp(-t/t_0)$, где величина $t_0 = \xi/E$ – называется временем релаксации. Она представляет собой время, за которое начальное напряжение уменьшается в $e = 2{,}718$ раз.

Релаксация напряжений – это самопроизвольное затухающее падение напряжений в материале с течением времени. Релаксация напряжений происходит за счет перехода упругой деформации в пластическую при постоянной общей начальной деформации. Она сопровождается теми же процессами, что и при ползучести, т.е. медленное пластическое деформирование происходит при постепенно убывающем напряжении, а при ползучести – при постоянном напряжении.

Типичным примером релаксации является снижение напряжений в болтах и шпильках фланцевых соединений. Несмотря на начальную затяжку болтов, с течением времени, при повышенных температурах, происходит ослабление натяга за счет перехода части упругой деформации в пластическую.

Параллельное соединение упругого и вязкого элементов (рис. 6) приводит к модели упруговязкой среды Фойхта [5]. Согласно модели Фойхта напряжение есть сумма упругой и вязкой составляющей:

$$\sigma_{xx} = E\varepsilon_{xx} + \xi d\varepsilon_{xx}/dt \qquad (6)$$

Выражение (6) не описывает эффект релаксации напряжений. Если деформация постоянна, то $d\varepsilon_{xx}/dt = 0$ и модель (6) вырождается в линейный закон Гука. При постоянном напряжении σ_{xx}, деформация в соответствии с моделью Фойгта будет изменяться по закону:

$$\varepsilon_{xx} = \sigma_{xx}/E\ (1 - exp[-E/\xi t]) \qquad (7)$$

стремясь к значению σ_{xx}/E (рис. 6, б).

Свойство реальных тел, заключающееся в нарастании деформаций при постоянном напряжении, называют ползучестью. Наиболее известными вязкопластическими моделями являются среда Шведова-Бингама и ползучепластическая среда.

Параллельное соединение вязкого и пластического элементов дает среду Шведова-Бингама. При $\sigma_{xx} < \sigma_T$ среда не деформируется. При $\sigma_{xx} \geq \sigma_T$ уравнение состояния имеет вид:

$$\sigma_{xx} = \sigma_T + \xi d\varepsilon_{xx}/dt \qquad (8)$$

т.е. сопротивление деформации зависит от скорости.

Последовательное соединение вязкого и пластического элементов дает ползучепластическую среду. При $\sigma_{xx} < \sigma_T$ она ведет себя подобно линейно - вязкой среде, элемент трения при этом неподвижен.

При $\sigma_{xx} = \sigma_T$ она подобна жесткопластической среде, такое состояние наступает при скорости деформации $(d\varepsilon_{xx}/dt)T = \sigma_T/\xi$. Вязкий элемент ξ моделирует здесь эффект ползучести - течение при напряжении меньше предела текучести σ_T. Возможно построение более сложных реологических моделей, описывающих различные наследственные эффекты.

При описании наследственных сред предполагают, что полная деформация ε складывается из мгновенной деформации ε_M, которая определяется действующим в данный момент напряжениями, и наследуемой деформацией ε_H. Рассмотрим простейший пример упругонаследственной среды. Мгновенная упругая деформация в момент времени *t* составит:

$$\varepsilon_M = \sigma(t)/E \tag{9}$$

где $\sigma(t)$ – напряжение, действующее в момент времени *t*.

Предполагается, что в момент времени $\tau < t$ (в течение малого промежутка времени *dτ*), действовало напряжение *σ(τ)*, которое вызывало деформацию, не исчезающую мгновенно после снятия напряжения, а постепенно убывающую. Считаем, что в произвольный момент времени *t* эта деформация пропорциональна напряжению $\sigma(t)$:

$$d\varepsilon_H = K(t-\tau)\sigma(\tau)d(\tau) \tag{10}$$

где $K(t-\tau)$ – монотонно убывающая функция, называемая ядром.

Для определения функций $\mathrm{K}(t)$ и $R(t)$ используются результаты механических испытаний материалов. Работнов Ю.В. [6] предложил обобщение уравнения (10) для описания процессов ползучести, записав его в виде:

$$f(\varepsilon) = \sigma(t) + \int_0^t K(t-\tau)\,\sigma(\tau)d\tau. \tag{11}$$

В качестве функции $f(\varepsilon)$ Работнов Ю.В. использовал выражение $f(\varepsilon) = \alpha\varepsilon\alpha$, определив ядро выражением $\mathrm{K}(t-\tau) = \mathrm{A}(t-\tau) - \beta$ где $\mathrm{a}, \alpha, \mathrm{A}, \beta$ – некоторые экспериментальные константы.

Практическое использование вышеприведенных теоретических обобщений хорошо демонстрируются на определении эксплуатационных характеристик пружин ответственных механизмов к которым предъявляются жесткие требования. По реализации заданных упругих характеристик, обеспечению прочности, ограничению релаксации в течение длительного срока работы.

На основе анализа требований, предъявляемых к тарельчатым пружинам (далее ТП), и результатов экспериментального исследования на основе нагружения изделий и регистрации сигналов акустической эмиссии, выделены основные факторы, влияющие на релаксацию силы (R). Факторы математической модели:

1) $N_{\text{общ.}72}$ – общее количество импульсов АЭ N в процессе заневоливания ТП в течение 72 часов;

2) Т – время эксплуатации ТП (эквивалентом которого является C - количество циклов в интервале нагрузок 100кН – 160кН).

Построение двухфакторных математических моделей проводили для 2-х типов ТП, из рессорно-пружинной стали 60С2А и титанового сплава ВТ23. Время эксплуатации ТП оценивали по количеству циклических нагружений (С) устанавливает максимально возможное количество 10000 циклов для ТП 2-го класса. При эксплуатации ТП количество циклов в интервале рабочих нагрузок является эквивалентом времени эксплуатации (T). Минимальное количество циклов (C_{min}) принято равным 1-10 циклов (процесс подготовки и установки ТП в узел эксплуатации) (T =0 лет). Результаты двухфакторного планируемого эксперимента позволили построить уравнение регрессии для прогнозирования релаксационной стойкости ТП из рессорно-пружинной стали 60С2А:

$$R = 2{,}22 \cdot 10^{-2} + 1{,}42 \cdot 10^{-2} \cdot N_{общ.72} + 2{,}14 \cdot 10^{-2} \cdot T + 1{,}43 \cdot 10^{-2} \cdot N_{общ.72} \cdot T - 2{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot {N^2}_{общ.72} + 6 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 \quad (12)$$

и титанового сплава ВТ23:

$$R = 1{,}4 \cdot 10^{-5} + 9{,}7 \cdot 10^{-5} \cdot N_{общ.72} + 19{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot T + 6{,}4 \cdot 10^{-5} \cdot N_{общ.72} \cdot T - 8{,}3 \cdot 10^{-5} \cdot {N^2}_{общ.72} + 5{,}7 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 \quad (13)$$

Для анализа полученных математических моделей прогнозирования релаксационной стойкости ТП из стали 60С2А и титанового сплава ВТ23 построены графические закономерности изменения функции отклика (релаксации ТП) от выбранных факторов (уровень сигналов на этапе заневоливания и время эксплуатации). На рис. 1 представлены регрессионные зависимости релаксационной стойкости (R) от уровня сигналов АЭ ($N_{общ.72}$).

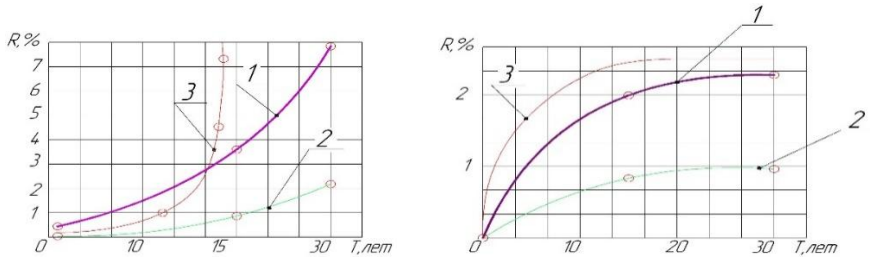


Рис. 1. Графическая интерпретация закономерности изменения релаксационной стойкости ТП во времени: 1 – релаксационная кривая ТП с максимальным уровнем сигналов АЭ; 2 – релаксационная кривая ТП с минимальным уровнем сигналов АЭ; 3 – экстраполяция релаксационной кривой для ТП с запредельным уровнем сигналов АЭ; а – ТП из стали 60С2А, б –ТП из сплава ВТ23.

Математические модели прогнозирования релаксационной стойкости ТП являются составной частью методики оценки качества и прогнозирования релаксационной стойкости ТП методом АЭ [7, 8].

Выводы

Проведен анализ существующих реологических моделей поведения сплошных сред под действием нагружения. Приведен пример выбора и обобщения моделей для разработки математической модели оценки эксплуатационных характеристик упругих элементов, основанных на методе акустической эмиссии, отличающийся возможностью как определять численные значения требуемых параметров, так и наличие внутренних дефектов (пор, раковин, трещин).

Список литературы

1. Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. т. 1. М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. литературы, 1976. -832 с.

2. Аркулис Г.Э., Дорогобид В.Г. Теория пластичности. Учебное пособие для вузов. М.: Металлургия, 1987. 352 с.

3. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики: в 2-х томах. Т. II. Динамика. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 640 с.

4. Маркус Рейнер. Деформация и течение. Введение в реологию [Текст] / Пер. со 2-го англ. изд. и ред. Л.В. Никитина [и др.]. – Москва: Гостоптехиздат, 1963.

5. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Том 1. Под ред. д-ра техн. наук проф И.А. Биргера и чл. Кор. АН Латвийской ССР Я.Г. Пановко.

6. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твёрдого тела. – М.: Наука, 1979. – 744 с.

7. Г.А. Данилин, А.В. Титов, Е.Ю. Ремшев Методика прогнозирования релаксационной стойкости тарельчатых пружин на основе излучения сигналов акустической эмиссии // Металлообработка. СПб. - 2011. - №2.-С.17-21.

8. Е.Ю. Ремшев Применение метода акустической эмиссии для контроля качества тарельчатых пружин из сплава ВТ23 // Металлообработка. СПб. - 2012. - № 4.-С.27-33.

УДК 691.32

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ БЕТОНОВ
PROSPECTS FOR THE STUDY OF CONDUCTIVE CONCRETE

Алла Юрьевна Гусева[1,2], Сергей Валентинович Кулиш[1]
Alla Yu. Guseva, Sergey V. Kulish

[1]Российский университет транспорта (МИИТ), Россия, Москва
[1]Russian University of Transport (MIIT), Russia, Moscow
(e-mail: allur06@mail.ru, kulish.777@bk.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: За последние 20 лет человечество совершило большой прорыв в области изучения дорожного строительства и в развитии эффективности применения новых строительных материалов. На сегодняшний день большое внимание стали уделять созданию противообледенительных дорог с применением токопроводящих материалов, которые в будущем позволят работать в трудных климатических условиях.

Abstract: Over the past 20 years, humanity has made a great breakthrough in the field of road construction and in the development of the effectiveness of the use of new building materials. To date, much attention has been paid to the creation of anti–icing roads with the use of conductive materials, which in the future will allow you to work without any problems in difficult climatic conditions.

Ключевые слова: Токопроводящий бетон, графит, магнезит, суровые климатические условия, электрическая проводимость, физико-механические свойства, обледенение поверхности.

Keywords: Conductive concrete, graphite, magnesite, harsh climatic conditions, electrical conductivity, physical and mechanical properties, surface icing.

Токопроводящий бетон является композитным материалом на основе природного и техногенного сырья, обладающего электропроводностью с удельным сопротивлением, достаточным для того, чтобы использовать материал в качестве электропроводящего конструкционного и нагревательного материала. Данный материал перспективен тем, что в случае массового применения значительно упростится работа в суровых климатических условиях. Откроется возможность делать надежные

и безопасные автомобильные дороги для перевозки различных грузов в северные регионы. Применение такого бетона позволит обезопасить приземление самолетов на аэродромах в холодных климатических зонах, а также сократит количество используемых реагентов, которые достаточно дороги и вредны для окружающей среды [1–3].

Цель данной статьи заключается в обобщении имеющейся информации для последующего подробного и структурированного исследования применения токопроводящего бетона.

Первые экспериментальные работы были проведены в США. Планировалось изготовление специального покрытия, которое помогло бы бороться с обледенением взлетно-посадочных полос в аэропортах, а также на дорогах и тротуарах. В процессе экспериментов в состав обычного бетона учеными был введен магнезит – материал природного происхождения с сильными ферромагнитными свойствами. Магнезит (магнитный железняк) буквально впитывает в себя электромагнитное излучение. Для усиления эффективности в новый раствор дополнительно ввели углерод и стружку различных металлов. Оптимальное процентное содержание технического углерода в бетонной смеси по условиям прочности и способности нагрева составляет 10-11%.

Начиная с 2003 года было проведено множество исследований, эксперименты продолжались до тех пор, пока не удалось создать образец, обладающий заданными свойствами и пригодный для широкомасштабного производства. Таким образцом стала обычная бетонная плита нового состава со стальным арматурным каркасом, который выполняет одновременно и функции мощного нагревательного элемента. Такой источник позволяет дозировать количество тепловой энергии, выделяемой в изделии и распределять ее равномерно по всему объему плиты. В качестве испытательного полигона команда профессоров-исследователей Криса Туана и Лима Нгуена использовала участок дороги, покрытый 52 плитами из бетона инновационного состава. Эксперимент показал, что даже в сильные морозы можно добиться того, чтобы снег, попавший на плиту, незамедлительно таял, не допуская обледенения поверхности. Даже в самых неблагоприятных условиях окружающей среды материал растапливал корку льда, причем для этого не понадобились химикаты – оказалось достаточно выделяемой им тепловой энергии.

Преимущества инновационных смесей бетона для изготовления дорожных и аэродромных плит:

• Значительно растет безопасность движения по дорогам и полосам, покрытым такими изделиями;

• Появляется возможность эффективно противодействовать некоторым видам природных явлений, таких как масштабные снежные осадки, гололед, критическое снижение температуры, град и ливни;

• Снижается потребность в применение химических реагентов и снегоуборочных машин, что может значительно сократить расходы.

Единственная проблема, с которой пока не удалось справиться – высокая стоимость инновационного материала. Однако, в перспективе, при увеличении объемов производства и совершенствовании технологий, эта величина может снизиться в разы. Токопроводящий бетон способен эффективно и равномерно нагреваться при подключении к источнику электрического тока. Скорость нагрева материала зависит от процентного содержания технического углерода в составе. Токопроводящий бетон является электробезопасным для пешеходов и водителей, так как его предполагается покрывать сверху защитным слоем, кроме того, нижележащие слои дорожной одежды играют роль заземления.

Попытки получения качественного токопроводящего бетона были осуществлены с применением различных вариаций состава бетона [4]. Одним из составляющих компонентов стал графит. Графит – минерал из класса самородных элементов, одна из аллотропных модификаций углерода. Это распространенный в природе минерал. Встречается обычно в виде отдельных чешуек, пластинок и скоплений, разных по величине и содержанию графита. Различают месторождения кристаллического графита, связанного с магматическими горными породами или кристаллическими сланцами, и скрытокристаллического графита, образовавшегося при метаморфизме углей. Графит хорошо проводит электрический ток. Он имеет шарообразную форму, а для создания сквозной проводимости необходимо обеспечить контакты частиц графита друг с другом, что для круглых частиц выполнимо только при их высоких концентрациях. При концентрации графита 30% прочность бетона снижается во много раз, что недопустимо для большинства областей применения. Таким образом графит не стал очень удачным образцом в комбинировании состава токопроводящего бетона.

С точки зрения обеспечения проводимости, целесообразно было бы использовать проводящие частицы с большим относительным удлинением – стержни, волокна, поэтому в ряде работ в бетон вводили нанотрубки, углеродное волокно и другие объекты с большим удлинением. Результаты с углеродными нанотрубками можно считать успешными, поскольку проводимость достигалась при незначительном их содержании, однако стоимость нанотрубок исключительно высока. Углеродное волокно много дешевле, однако, не имея совместимости с бетоном, оно

скручивается в клубки, и для его введения необходима стабилизация поверхностно-активным веществом.

Влажность электропроводящего бетона также влияет на свойства материала, однако для практически употребляемых объемных концентраций углерода это уже неважно. Увлажнение будет влиять на морозостойкость материала и его работу при тепловых ударах, что в целом определяет долговечность конструкции и стабильность ее свойств. Исследования показали, что электропроводящий бетон имеет стабильные электрические характеристики и изменение его сопротивления в процессе эксплуатации не превышает 5%.

Заключение

Токопроводящие бетоны, разрабатываемые на протяжении последних двух десятилетий с варьируемым содержанием различных веществ и углерода, имеют свои преимущества и недостатки. В одних случаях добавление необходимых для электропроводимости составляющих влияет, непосредственно, на предел прочности бетона; в иных случаях бетон сохраняет свои ключевые характеристики, жертвуя при этом необходимыми параметрами удельного сопротивления электропроводимости. Основной проблемой разработки и внедрения в массовое производство данного продукта является сложная рецептура и высокая цена необходимых компонентов. Продолжение исследования токопроводящих бетонов и внедрение их не только в автодорожное, но и в гражданское строительство, приведет к значительному ускорению разработки наиболее надежного состава продукта, а также к снижению цен при увеличении объема производства.

Список литературы

1. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2018. 30 с.

2. ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2018. 18 с.

3. СП 63.13330.2018 “СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения”. М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2018. 143 с.

4. Денисюк И.Ю., Успенская М.В., Фокина М.И., Логушкова К.Ю. Электропроводящая композиция бетона // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 1. С. 158–162.

УДК 674

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫГОДЫ И ПРОБЛЕМЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ
ENVIRONMENTAL BENEFITS AND CHALLENGES OF USING WOOD

Сафин Руслан Рушанович[1,2], Погодина Яна Дмитриевна[1], Илалова Гузель Фандасовна[1]
Safin Ruslan Rushanovich[1,2], Pogodina Yana Dmitrievna[1], Ilalova Guzel Fandasovna[1]

[1]ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань
[1]FGBOU VO Kazan National Research Technological University, Kazan (pogodinayana2000@mail.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: Одним из наиболее доступных и востребованных природных материалов, которым пользуется человечество, является древесина и продукты ее переработки. Универсальность дерева позволяет использовать его практически во всех отраслях промышленности и хозяйства, при этом это один из немногих возобновляемых ресурсов планеты. Однако, несмотря на возможность искусственного возобновления лесных насаждений рациональная переработка древесины помогает получить намного больший эффект в сохранении лесов, сделав практически замкнутый цикл переработки, используя практически все части дерева при этом получая значительную прибыль. В данной работе рассмотрены существующие преимущества и проблемы использования древесины и изделий из древесного материала. Главным достоинством бесспорно является экологическая чистота этого материала.

Abstract: One of the most accessible and popular natural materials used by mankind is wood and its processed products. The versatility of the tree allows it to be used in almost all industries and farms, while it is one of the few renewable resources on the planet. However, despite the possibility of artificial renewal of forest plantations, rational wood processing helps to get a much greater effect in preserving forests by making an almost closed cycle of processing, using almost all parts of the tree while making a significant profit. In this paper, the existing advantages and problems of using wood

and wood products are considered. The main advantage is undoubtedly the ecological purity of this material.

Ключевые слова: экологичность, деревообработка, изделия из древесины, сфера применения древесины.

Keywords: environmental friendliness, woodworking, wood products, the scope of wood application.

На сегодняшний день существует большое количество производителей, торговцев и потребителей изделий из дерева в мире. Деревообрабатывающая промышленность включает следующие секторы:

- деревообработка;
- пробка и другие лесные материалы;
- производство целлюлозы, бумаги и картона;
- переработка бумаги и картона;
- печатная промышленность.

В частности, обработка древесины включает в себя переработку деревьев в полезные потребительские товары и строительные материалы, такие как древесные плиты. Деревообрабатывающая промышленность поставляет основные продукты, такие как пиломатериалы, деревянные панели, столярные изделия для строительства, материалы для внутренней отделки и упаковки (поддоны и коробки) [1].

При оценке воздействия на окружающую среду изделий из древесины основное внимание уделяется потреблению энергии в производственных процессах [2]. В настоящее время растет интерес к приобретению изделий из древесины, произведенных экологически чистым способом. Заинтересованные потребители, розничные торговцы, правительства и другие группы все чаще требуют позитивного социального и экологического вклада в процесс розничной торговли. Устойчивое развитие является серьезной проблемой в развитых странах, что приводит к ужесточению правил, касающихся воздействия продуктов во время их производства, использования и окончания срока службы, включая обязательное определение стратегий и систем обратной логистики.

Методология оценки жизненного цикла является подходящим и ценным инструментом для оценки воздействия материалов, продуктов и систем обслуживания на окружающую среду и должна быть частью процесса принятия решений по обеспечению устойчивости [3]. Учеными были проведены исследования в отношении производства изделий на основе древесины, таких как деревянные напольные покрытия, древесностружечные плиты, МДФ и сопутствующие изделия из дерева, такие как оконные рамы, стены и мебель. Древесина также является

важным основным материалом для других продуктов и видов деятельности, таких как производство бумаги и упаковки [4].

Недавние исследования показали, что правильно установленные и используемые изделия из дерева, как правило, имеют более благоприятный экологический профиль по сравнению с аналогичными изделиями из других материалов [5]. С другой стороны, одним из наиболее действенных инструментов для снижения нагрузки на окружающую среду, связанной с продуктами, является экодизайн или дизайн окружающей среды. Эта методология заключается в применении экологических критериев к разработке продукта и означает изменение нашего взгляда на эти продукты. Примеры варьируются от автомобильного сектора, кожевенной промышленности, упаковки и утилизации отходов. Междисциплинарная команда, которая работает над экологическими аспектами в таком дизайне, играет ключевую роль в улучшении этапов производства: промышленных материалов, процесса, транспортировки, упаковки, монтажа, использования, обслуживания, демонтажа и окончания срока службы, поскольку они знают, что эти первоначальные решения влияют на весь жизненный цикл [6]. Это изменение в процессе проектирования воплощается в новое видение сокращения выбросов в окружающую среду: видение окончательной обработки, состоящее из обращения с отходами, образующимися при демонтаже продукта, видение улучшения состояния окружающей среды на протяжении всего жизненного цикла, в котором учтены все этапы.

При рассмотрении экологически чистых материалов потребители отдают предпочтение древесине, так как она обладает многочисленными экологическими преимуществами, но вместе с тем сталкивается с некоторыми экологическими проблемами [7].

Древесина является возобновляемым ресурсом из лесов. Тем не менее, без надлежащего управления лесами его использование может привести к ухудшению состояния почвы, деградации лесов и обезлесению [8]. Текущие экологические проблемы затронуты в основном в дождевых тропических лесах [9].

Древесина является естественно выращенным материалом, который образуется в результате фотосинтеза, использующего солнечный свет для фиксации атмосферного углекислого газа для роста. В результате диоксид углерода сохраняется в структуре древесины до тех пор, пока материал не разложится после гибели дерева под действием насекомых, грибков и бактерий. Когда древесина перерабатывается в продукт, углерод сохраняется до конца срока службы продукта. Однако ученые считают, что накопление углерода в изделиях из древесины не является долгосрочным решением проблемы хранения CO_2 [10]. Срок

службы изделий из древесины ограничен, и их постоянное использование может привести к устойчивому уровню накопления углерода при кумулятивном увеличении выбросов углерода из-за использования ископаемого топлива для их производства.

По сравнению с другими строительными материалами, древесина является лучшим выбором при рассмотрении с точки зрения глобальных выбросов углерода, поскольку для ее производства требуется меньше энергии и ископаемого топлива, чем для других строительных материалов, таких как сталь, бетон и т.д. [11].

Вместе с тем лесная промышленность является довольно самодостаточной, поскольку более половины всей энергии, используемой в производстве первичной лесной продукции, вырабатывается самостоятельно. Сжигание отходов обеспечивает необходимую энергию для обработки и обогрева помещения, но их также можно сжигать для получения прямого и косвенного тепла для сушки древесины [12]. Баланс эквивалентных выбросов углекислого газа почти нейтрален из-за низкого уровня промышленной переработки и может быть отрицательным, представляя собой чистое поглощение выбросов, если продукты перерабатываются или используются повторно, а не выбрасываются на свалку в конце срока их службы [13]. В целом, использование древесины, заменяющей сталь, бетон или почти любые другие строительные материалы, дает явную выгоду от сокращения выбросов парниковых газов [14].

В настоящее время одной из проблем, стоящей при производстве изделий из древесины (деревянных напольных покрытий, стеновых панелей, потолочной плитки, сайдинга и декоративных стеновых панелей), является использование в покрытиях клея, краски, лака, которые могут содержать летучие органические соединения. Некоторые клеи изготавливаются из химических веществ, выделяющих летучие органические соединения, наиболее распространенными из которых являются формальдегид и его производные, которые, как известно, оказывают негативное воздействие на здоровье человека [15]. Летучие органические соединения могут вступать в реакцию с молекулами озона даже при низкой концентрации, образуя субмикронные частицы и побочные продукты, которые могут вызвать вредные последствия для здоровья некоторых чувствительных групп населения. Такие добавки, как антипирены (на основе галогенов), фунгициды, пестициды и другие биоциды, повышают стойкость материала к плесени, гниению или возгоранию, но могут быть источником токсического воздействия. Все эти добавки потенциально вредны для здоровья человека и являются источником нега-

тивного воздействия на окружающую среду. Следовательно, в зависимости от того, используется ли на стадии производства большое количество этих добавок или нет, а также большое количество энергии или нет, конечный продукт является недостаточно экологически чистым материалом.

Выводы

Для того чтобы обеспечить наиболее устойчивое и эффективное управление лесами, необходимо применять меры по развитию лесного хозяйства нашей страны. В современном мире исключительно важное место занимает разработка и развитие новых технологических процессов, которые способны привести к заметному сокращению, а затем и полному устранению потерь при переработке и использовании лесных ресурсов.

И в связи с этим немаловажную роль играет задача охраны природы от загрязнения, связанного с недостатками в сфере заготовления и использования ресурсов.

Список литературы

1. European Commission (2010). Available at: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/wood-paper-printing/index_en.htm.

2. Boyd CW, Koch P, McKean HB, Morschauer CR, Preston SB, Wangaard EF (1976) Wood for structural and architectural purposes. For Prod J 27:10–20.

3. Baumann H, Tillman AM (2004) The Hitch Hilker's guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application. ISBN 9144023642, Studentlitteratur, Lund, Sweden.

4. Gasol CM, Farreny F, Gabarrell X, Rieradevall J (2008) Life cycle assessment comparison among different reuse intensities for industrial wooden containers. Int J Life Cycle Assess 13:421–431.

5. Werner F, Richter K (2007) Wooden building products in comparative LCA. A literature review. Int J Life Cycle Assess 12:470–479.

6. Brezet H, Van Hemel C (1997) Eco-design: a promising approach to sustainable production and consumption.

7. Overall, wood usage, substituting steel, concrete, or almost any other building materials, generates a clear greenhouse gas reduction benefit (Sathre and O'Connor 2010, Nabuurs et al. 2007).

8. Gerwing JJ (2002) Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon.

9. FAO (2010) Global forest resource assessment 2010 – main report. 333 p.

10. AH Buchanan, SB Levine - Environmental Science & Policy, 1999 – Elsevier Wood-based building materials and atmospheric carbon.

11. Bribián ZI, Capilla VA, Usón AA (2011) Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential.

12. Bowyer JL, Shmulsky R, Haygreen JG (2007) Forest products & wood science: an introduction, 5th edn.

13. Bribián ZI, Capilla VA, Usón AA (2011) Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential.

14. Overall, wood usage, substituting steel, concrete, or almost any other building materials, generates a clear greenhouse gas reduction benefit (Sathre and O'Connor 2010, Nabuurs et al. 2007).

15. An J-Y, Kim S, Kim H-J, Seo J (2010) Emission behavior of formaldehyde and TVOC from engineered flooring in under heating and air circulation systems. Build Environ 45:1826–1833. Molhave L, Dueholm S, Jensen LK (1995) Assessment of exposures and health risks related to formaldehyde emissions from furniture: a case study.

УДК 539.3

ЭФФЕКТ УПРУГОЙ ЗАДНЕЙ КРОМКИ КОНСОЛИ В ДОЗВУКОВОМ ПОТОКЕ
EFFECT OF THE FLEXIBLE CONSOLE REAR EDGE IN A SONIC FLOW

Александр Сергеевич Максимов[1,2], Василий Васильевич Саурин[2,3]
Alexander S. Maximov[1,2], dr. Vasily V. Saurin[2,3]

[1]Публичное акционерное общество «Авиационный комплекс им. С.В. Ильюшина, Россия, Москва
[1]Public Joint Stock Company "S.V. Ilyushin Aviation Complex", Russia, Moscow
(e-mail: MaksimovAS1@ilyushin.org)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering
[3]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, Москва, Россия
[3]Federal State Budgetary Institution of Science Institute for Problems in Mechanics A.Yu. Ishlinsky Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Аннотация: Изложена идея сделать упругой заднюю кромку консоли, чтобы минимизировать турбулентность сходящего с консоли потока. Для этого предлагается использовать новые материалы, предварительно рассчитав их ключевые характеристики.

Abstract: An idea is considered to make the rear edge of a console flexible. The flexibility of the rear edge will minimize turbulence of the flow after the console. The key characteristics of the new materials for the edge must be preliminary calculated.

Ключевые слова: ламинаризация, новые материалы, упругая задняя кромка, положительный эффект.

Keywords: laminarisation, new materials, flexible rear edge, positive effect.

В конце 2019 года в офисе японской компании МИЦУИ в Москва-сити состоялись переговоры фирмы «Ил» и Российской инженерной академии с японскими компаниями КОМАЙХАЛТЕК и МИЦУИ (представляет интересы компании КОМАЙХАЛТЕК в России). На

переговорах обозначился повышенный интерес японцев к решению проблем с вибрациями и автоколебаниями лопастей ветряных энергетических установок (ВЭУ), вызываемыми неустойчивым набегающим на ВЭУ ветряным потоком, а также виброустойчивостью ВЭУ в целом.

В презентациях российской стороны предлагались решения в виде оснащения лопастей ВЭУ «Умными» опциями, а также в виде обустройства виброустойчивого фундамента для ВЭУ. Из «Умных» опций для борьбы с вибрациями предлагалась, в частности, опция «Резиновая» лопасть.

В отличие от жёсткой (дюралевой или композитной) лопасти ВЭУ задняя кромка «Резиновой» лопасти пропускает дискретные вихри нестационарного набегающего потока, что способствует вибрационной устойчивости консоли лопасти (или крыла).

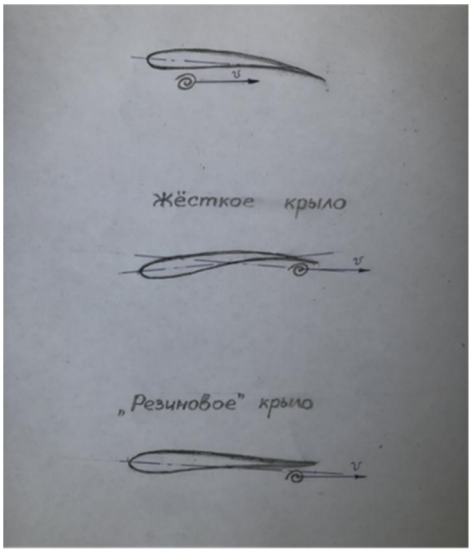


Рис. 1

Кроме демпфирования вибрационного воздействия дискретных вихрей на консоль в потоке, консоль с упругой задней кромкой будет иметь дополнительно ряд преимуществ перед консолью с жёсткой задней кромкой:

– меньший C_x;

– меньший уровень аэроакустического шума;

– менее интенсивный спутный след.

Объясняется это физикой обтекания консоли потоком воздуха.

При обтекании консоли воздухом на её поверхности образуются вихри, которые, развиваясь, отрываются и, тем самым, образуют турбулентный слой ещё до схода с консоли. Поэтому чем дольше не позволять этим вихрям отрываться от поверхности консоли, тем продолжительнее будет её ламинарное обтекание и, соответственно, тем меньше будет аэродинамическое сопротивление C_x.

В несжимаемой жидкости с этим хорошо справляются дельфины благодаря упругости своей кожи (и подводные лодки, благодаря резиновому покрытию корпуса).

В сжимаемой жидкости (воздухе) задержку отрыва вихрей от крыльев птицы решают с помощью перьев, к которым вихри «прилипают». Этот процесс можно заметить, если понаблюдать за полётом альбатроса, сопровождающего корабль: отдельные перья верхней поверхности крыльев альбатроса периодически задираются вверх. Это отрывающиеся от крыльев вихри увлекают за собой перья.

Если заднюю кромку консолей органов управления самолётом (или лопасти ВЭУ) сделать упругой (например, как изображено на рис. 2) то сход потока с консоли будет не таким турбулентным, как у консоли с жёсткой задней кромкой. Следовательно, C_x будет меньше.

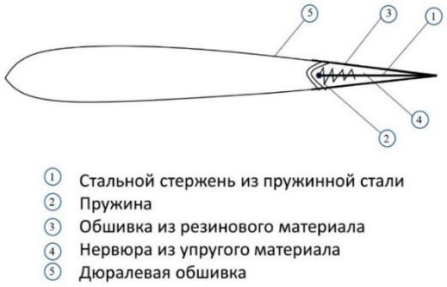


Рис. 2.

Упругость обшивки консоли будет способствовать снижению уровня аэроакустического шума, поскольку турбулентность потока будет менее развита. (Вспомним эффект упругости кожи дельфина при его движении в воде). Если же принять во внимание тот факт, что шум, который мы слышим при полёте в самолёте – это большей частью шум от трения воздуха об обшивку самолёта, то вклад упругой задней кромки в снижение аэроакустического шума самолёта может быть весьма заметным. Это положительный эффект как с точки зрения снижения заметности боевой авиации, так и с точки зрения улучшения экологической характеристики самолётов (и ВЭУ) вообще.

Уменьшение интенсивности спутного следа может дать положительный эффект для улучшения сразу двух характеристик самолёта: его заметности – важного фактора для фронтовой авиации, а также сокращения интервалов между взлётами и посадками самолётов, что актуально для тяжёлой транспортной авиации и больших гражданских самолётов, выполняющих рейсы в аэропорты с интенсивным трафиком.

Снижение вибраций положительно влияет на работу и увеличение срока службы любой конструкции. Это особенно важно для ветроэнергетики, для которой длительность простоев ветроэнергетических установок (ВЭУ) из-за штормовых ветров и продолжительность жизненного цикла ВЭУ связаны со стоимостью генерируемой энергии. А это основополагающий фактор, определяющий конкурентоспособность на рынке ветроэнергетики.

В настоящее время появилось множество новых материалов, использование которых может минимизировать отрыв вихрей от поверхности консоли при её обтекании воздушным потоком. Замена жёсткой обшивки консоли обшивкой из упругих материалов позволит обтекаемой поверхности подстраиваться под тангенциальные пульсации потока, тем самым ламинаризируя его.

Для оценки степени влияния упругости задней кромки консоли на указанные выше характеристики наш индустриальный партнёр предоставил координаты нескольких аэродинамических профилей лопастей ВЭУ, выпускаемых в РФ. В настоящее время в ЦАГИ проводится численное моделирование обтекания лопасти на нескольких характерных режимах (см. график).

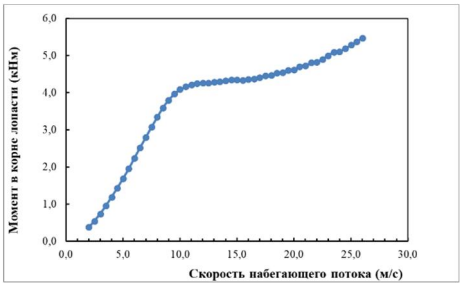


Рис. 3.

Основная цель численного моделирования - убедиться в наличии положительного эффекта упругости задней кромки консоли, а также получить конкретные значения параметров, необходимых для подборки подходящих материалов для изготовления лопасти с упругой задней кромкой.

Техническое задание химикам подразумевает указание следующих характеристик материала:

– коэффициентом упругости;

– пределом упругости;

– коэффициентом вязкости при взаимодействии обшивки с потоком воздуха;

– предельными напряжениями;

– удельным весом материала.

При численном моделировании обтекания предусматривается варьировать скорость набегающего потока, угол атаки консоли в потоке, частоту и интенсивность флуктуаций скорости набегающего потока как в продольном, так и в тангенциальном направлениях.

После получения от химиков списка подходящих материалов начнётся работа с конструкторами и технологами, задача которых будет состоять в интеграции этих материалов в конструкцию лопастей ВЭУ и органов управления самолётом.

Испытания лопастей ВЭУ и органов управления самолётом с упругими задними кромками должны показать уникальность характеристик как лопастей ВЭУ, так и органов управления самолётом, ставящих эти изделия вне конкуренции со всем, что производят в мире в этих бизнес-нишах в настоящее время.

Выводы

Эффект минимизации турбулентности упругой задней кромкой консоли сходящего с неё потока воздуха заслуживает глубокого исследования, поскольку имеет важное значение для его правильного использования в разных отраслях народного хозяйства. В частности, обустройство лопастей ВЭУ упругой задней кромкой может заметно снизить вибрации лопастей ВЭУ при нестабильном штормовом ветре, что обеспечит модернизированной ВЭУ абсолютные конкурентные преимущества перед существующими ВЭУ. А в авиации использование упругих задних кромок на органах управления самолётом улучшит сразу несколько его характеристик.

Работа выполнена в рамках Госзадания № 123021700050-1.

Список литературы

1. Thomas A.Reist, DavidKoo, David W.Zingg. University of Toronto, Toronto, Ontario, M3115T6, Canada. Aircraft Cruise Drag Reduction Through Variable Camber Using Existing Control Surfaces. Journal of Aircraft, Vol. 59, No 6, November-December 2022.

УДК 664.8.022.6 : 519.237.8

КЛАСТЕР-АНАЛИЗ АНТИНУТРИЕНТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕГРАТИВНОГО ПОДХОДА К ИХ ИНАКТИВАЦИИ
CLUSTER-ANALYSIS OF ANTINUTRIENTS OF PLANT RAW MATERIALS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE INTEGRATIVE APPROACH TO THEIR INACTIVATION

Егор Анатольевич Ольховатов[1,3], Геннадий Иванович Касьянов[2,3]
Egor A. Olkhovatov[1,3], Gennady I. Kasyanov[2,3]

[1] Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар
[1] Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Russia, Krasnodar (e-mail: olhovatov_e@inbox.ru)
[2] Кубанский государственный технологический университет Россия, Краснодар
[2] Kuban State Technological University, Russia, Krasnodar (e-mail: g_kasjanov@mail.ru)
[3] Кубанское отделение Российской инженерной академии
[3] Kuban Branch of the Russian Academy of Engineering

Аннотация: Рассмотрены основные особенности методики кластерного анализа. Определена ее потенциальная возможность классифицировать антинутриенты растительного сырья. Установлена применимость для осуществления их инактивации при интегративном подходе.

Abstract: The main features of the cluster analysis technique are considered. Its potential possibility of classification of antinutrients of vegetable raw materials is determined. The applicability for the implementation of their inactivation with an integrative approach has been established.

Ключевые слова: кластер-анализ, антипитательные вещества, растительное сырье, интегративный подход, инактивация антинутриентов.

Keywords: cluster analysis, antinutrients, plant materials, integrative approach, antinutrient inactivation.

Методика кластерного анализа является многоуровневой статистической операцией по сбору данных, содержащих требуемую информацию о выборке рассматриваемых объектов. Конечная ее цель – упорядочение объектов исследования в максимально однородные группы.

Хотя впервые понятие о кластеризации в нынешнем его представлении и появилось сравнительно давно, в 1939 г., но метод кластер-анализа и поныне является альтернативным, считаясь неклассическим статистическим для целого ряда отраслей естественнонаучных и технических дисциплин [1, 2]. Области применения кластер-анализа многочисленны и разнообразны – это историческая, медицинская, инженерная, экономическая, языковедческая, биологическая, социологическая, юридическая науки. И перечисленные области знаний являются лишь основными из тех, где с успехом применяется этот разносторонний статистический метод [3].

Наш интерес к этому методу обусловлен большим многообразием антинутриентов растительного сырья ввиду высокой численности представителей этой группы источников продовольствия. Каждый конкретный случай требует от поставщиков и производителей четких оперативных действий, что невозможно без привлечения адекватных методов классификации объектов исследования, аналитических методик и способов, позволяющих достоверно инактивировать каждый из обнаруженных антипитательный компонентов, делая результат трансформации растительного сырья с получением продуктов высокой биологической и энергетической ценности экономически эффективным.

При внедрении кластер-анализа становится возможной разработка четкой и обоснованной классификации рассматриваемых объектов в зависимости от поставленной перед исследователем задачи. Дальнейшее изучение полученных концептуальных схем определяет возможность порождения статистически оправданных гипотез, последующая проверка которых позволяет значительно сократить время научного поиска с большой вероятностью получения положительного результата.

Этапами кластер-анализа независимо от предмета исследования всегда являются:

– вычленение выборки для исследования с обособлением количественных и качественных данных;

– выделение переменных множеств, которые станут критериями оценки объектов исследования;

– установление меры различия и степени сходства объектов исследования;

– применение полученных сведений для создания укрупненных групп объектов со сходными свойствами;

– оценка степени достоверности полученных результатов с привлечением иных методов математической статистики.

Подвергаемые кластеризации исследуемые данные неизменно оценивают по двум основным критериям, устанавливая меру их однородности и степень полноты. Первая, в свою очередь, предполагает, что все рассматриваемые признаки имеют одну природу и аналогичный набор основных характеристик. А это требование можно обеспечить при помощи факторного анализа для создания выборки.

Характеризуют каждый из исследуемых объектов по совокупности свойственных ему признаков как в числовом, так и в описательном выражениях. При этом, оценивают расстояния до других объектов исследуемой группы. Дополняется это свойство установлением меры подобия исследуемых объектов.

На современном этапе развития математических методов теории классификации разработаны и используются несколько алгоритмов обработки получаемых путем кластеризации данных. Широко распространены в естественнонаучном и техническом направлениях анализы данных сравнением исследуемых объектов, опираясь на признаки (так называемый *Q-typ*), либо сравнения признаков, отталкиваясь от конкретных объектов (*R-typ*).

Существенно облегчает последующую обработку данных дробление выборки на группы тождественных объектов, что позволит в дальнейшем применить к каждому обособленному кластеру соответствующий метод анализа. Для антинутриентов растительного сырья – это физические (оптические), электро- и биохимические, химические и биологические методы анализа. При этом, ряд методик являются универсальными и могут быть применены при анализе наличия и количества большинства антипитательных веществ [4].

Кроме того, кластеризация позволяет установить типичных представителей каждой укрупненной группы и плотно работать уже с ними, что для реализации интегративного подхода к инактивации антинутриентов растительного сырья существенно облегчит задачу исследователей и производителей безопасной пищевой продукции неизменно высокого качества. Наряду с этим становится возможным обнаружение и выделение нехарактерных объектов. Дальнейшую работу с исследуемыми кластерами возможно вести в двух направлениях: сокращать их число, опираясь на типичных представителей, отличающих кластеры друг от друга, либо обеспечить максимальное сходство объектов внутри каждого из выделенных кластеров.

Таким образом установлено, что для кластер-анализа характерна потенциальная возможность классифицировать антинутриенты растительного сырья для осуществления их инактивации при интегративном

подходе, подразумевающем комплексное использование разработанных мер воздействия на объекты исследования [5].

Список литературы

1. Горбач А.Н. Алгоритм кластеризации спонтанных последовательностей / А.Н. Горбач, Н.А. Цейтлин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2010. – Т. 76, № 1. – С. 69-70.

2. Судаков С.А. Неклассическая статистика в задачах психиатрии / С.А. Судаков, С.Н. Мясоедов // Психиатрия. – 2005. – № 2(14). – С. 33-38.

3. Орлов А.И. Математические методы теории классификации / А.И. Орлов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 95. – С. 23-45.

4. Ольховатов Е.А. Антинутриенты растительного сырья: классификация, характеристика, методы анализа : монография / Е.А. Ольховатов, Е.В. Щербакова. – Краснодар: Экоинвест, 2021. – 114 с.

5. Ольховатов Е.А. Инактивация антинутриентов растительного сырья: интегративный подход : монография / Е.А. Ольховатов. – Краснодар : КубГАУ, 2020. – 120 с.

УДК 691.32

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ С АГРЕССИВНОЙ СРЕДОЙ
ON THE INTERACTION OF CEMENT COMPOSITES WITH AN AGGRESSIVE ENVIRONMENT

Алла Юрьевна Гусева[1,2]
Alla Yu. Guseva

[1]Российский университет транспорта (МИИТ), Россия, Москва
[1]Russian University of Transport (MIIT), Moscow
(e-mail: allur06@mail.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: Актуальной задачей современного материаловедения является повышение стойкости цементных композитов (бетонов, растворов) в химически и биологически активных средах. Существенную роль в формировании структуры и свойств бетона играют минеральные наполнители. Правильный выбор наполнителя позволяет получать химически стойкие и биостойкие цементные композиты для современного строительства.

Abstract: An urgent task of modern materials science is to increase the resistance of cement composites (concretes, mortars) in chemically and biologically active environment. Mineral fillers play an essential role in the formation of the structure and properties of concrete. The right choice of filler makes it possible to obtain chemically resistant and bio-resistant cement composites for modern construction.

Ключевые слова: цементный бетон, минеральный наполнитель, химически активная среда, биологически активная среда, структура и свойства бетона, химическая стойкость, биостойкость.

Keywords: cement concrete, mineral filler, chemically active medium, biologically active medium, structure and properties of concrete, chemical resistance, biostability.

Практика показывает, что зачастую цементные композиты с хорошими физико-механическими свойствами не обладают стойкостью в агрессивных средах. Химическое и биологическое сопротивление цементных композитов определяется механизмами взаимодействия компонентов друг с другом (гидратация, адгезия) и с агрессивной средой

(адсорбция, диффузия, химические реакции). В первую очередь стойкость зависит от состава и структуры материала, от вида разрушающей среды [1-6]. В современных условиях при росте техногенных загрязнений окружающей среды деградация цементных материалов усиливается микробиологической коррозией. Капиллярно-пористые материалы склонны к активному взаимодействию с микроорганизмами и продуктами их жизнедеятельности (органическими и минеральными кислотами, окислительно-восстановительными и гидролитическими ферментами). Введение высокодисперсных наполнителей делает еще более неоднородным строение композита и усложняет механизмы химической и биологической деградации. При введении минерального наполнителя на характер деградации существенно влияет его природа, дисперсность и степень наполнения.

При проектировании состава стойкого наполненного бетона необходимо учитывать одновременно действующие факторы:

1. Влияние минерального наполнителя на структуру композита;
2. Взаимодействие наполнителя с другими компонентами;
3. Взаимодействие наполнителя с агрессивной средой.

Рассмотрим механизмы взаимодействий компонентов бетона на каждом уровне отдельно.

При оптимальном наполнении структура материала уплотняется, повышается сопротивление массопередаче, а основная сорбционная характеристика взаимодействия бетона с агрессивной средой – коэффициент диффузии – имеет наименьшее значение. Обычно твердые и плотные частицы наполнителя непроницаемы и механически тормозят диффундирующий поток.

2. В проведенных ранее исследованиях изучены особенности взаимодействия компонентов цементного бетона с порошкообразными минеральными наполнителями природного и техногенного происхождения, в том числе на основе отходов промышленности: пылями, шламами, молотыми шлаками металлургического производства [4-6]. Выявлено, что некоторые наполнители принимают активное участие в физико-механических и физико-технических процессах твердения. Например, в присутствии Mn-содержащих наполнителей повышается гидравлическая активность цемента за счет химической модификации поверхности цементных зерен. В результате гидратации минералов наполнителя образуются соединения, интенсивно взаимодействующие с гидроксидом кальция, отмечается увеличение количества тоберморитового геля. С точки зрения долговечности бетона эти изменения благоприятны, поскольку наибольшей устойчивостью при воздействии агрессив-

ных сред обладают структуры, представленные низкоосновными гидросиликатами кальция типа CSH(B) с минимальным содержанием свободного $Ca(OH)_2$. Кроме того, глубокие химические взаимодействия между цементом и наполнителем иногда приводит к изменению фазового состава цементного камня, образованию новых стойких к агрессии продуктов, например, твердых гидроксидов и труднорастворимых соединений на основе гидроксида марганца $Mn(OH)_3$, не характерных для цементных систем.

Большое значение имеет адгезионное сцепление наполнителя и цементирующей фазы, которое зависит от микрорельефа и активности поверхности минеральных частиц. При сильной адгезии затруднено проникновение в структуру материала агрессивных веществ, в том числе микробного происхождения.

В случае использования активного наполнителя наблюдается специфическое взаимодействие поверхности заполнителей и цементной матрицы, возрастает роль химических твердофазовых реакций между ними. Прочные межмолекулярные связи повышают адгезию цементного камня и заполнителя, зерна которого охвачены более плотной и широкой поверхностью раздела. В результате бетон с минеральным наполнителем обладает высокой плотностью и непроницаемостью, что снижает возможность миграции агрессивной среды.

Если наполнитель не вступает в физико-химическое взаимодействие с другими компонентами, то агрессивная среда проникает по его поверхности вглубь материала и коррозионная стойкость бетона существенно снижается.

При взаимодействии наполнителя с агрессивной средой возможны три случая:

А. Наполнитель не обладает собственной стойкостью и разрушается в агрессивной среде. Наполнители, полученные тонким помолом горных пород, обычно состоят из породообразующих силикатных и алюмосиликатных минералов. Дисперсные шламы, золы, пыли, молотые шлаки в большом количестве содержат силикаты кальция и магния. Продуцируемые микроорганизмами органические кислоты могут образовывать с силикатными минералами легкорастворимые комплексные соединения. Лимонная, щавелевая, глюконовая и другие кислоты способствуют выщелачиванию минералов с высвобождением катионов Si, Fe, Al и нарушением целостности зерен наполнителя. Микромицеты и бактерии способны растворять наполнители из мрамора, известняка, кварцевого песка. Биостойкость наполнителя зависит также от кристал-

лической структуры слагающих его минералов. Например, алюмосиликаты слюдяной структуры под действием органических кислот разлагаются быстрее [6].

Б. Наполнитель устойчив к воздействию агрессивной среды и не вступает в реакции с ней. Зерна такого наполнителя не повреждаются агрессивными агентами. Собственная стойкость наполнителя положительно сказывается на стойкости бетона в химически и биологически активных средах.

В. Наполнитель взаимодействует с агрессивной средой позитивно. В этом случае образуются труднорастворимые соединения, кольматирующие поры и тормозящие процессы коррозии, либо происходит снижающий агрессивность среды обмен катионами. Так, при взаимодействии органических кислот с минералами наполнителя возможно образование стойких глюконатов кальция и железа, усиливающих буферные свойства контактной зоны и тормозящих процессы коррозии. По имеющимся данным, стойкими активными наполнителями для цементных бетонов являются тонкомолотые базальты, цеолиты, пыли газоочистки производства ферросилиция и ферромарганца.

Результирующий эффект влияния наполнителя на стойкость цементного бетона определяется сочетанием всех его взаимодействий с вяжущим и агрессивной средой.

Таким образом, для стойкого бетона эффективным может стать минеральный наполнитель, который вступает в позитивные физико-химические взаимодействия с другими компонентами цементного бетона и с агрессивной средой. Учет и прогноз этих разнонаправленных взаимодействии – сложная многофакторная задача. Ее решение позволит ограничить область поиска вида и дисперсности минеральных наполнителей, а также состав бетонов, стойких к коррозии разных видов.

Список литературы

1. Биоповреждения в строительстве. Под редакцией Ф.М. Иванова, С.Н. Горшина. М.: Стройиздат, 1984. 320 с.

2. Гусев Б.В. Основы математической теории процессов коррозии бетона. М., 2006. 39 с.

3. Гусев Б.В., Кондращенко В.И., Маслов Б.П., Файвусович А.С. Формирование структуры композиционных материалов и их свойства. М.: Научный мир, 2006. 560 с.

4. Соломатов В.И., Селяев В.П., Соколова Ю.А. Химическое сопротивление материалов. М.: РААСН, 2001. 284 с.

5. Черкасов В.Д., Бузулуков В.И. Строительные биотехнологии и биокомпозиты: монография. Изд-во Мордовского университета, 2016. 191 с.

6. Гусева А.Ю. Биокоррозия цементных строительных материалов // Строительное материаловедение – теория и практика. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. М.: СИП РИА, 2006. С. 248-249.

INTERNATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING
RUSSIAN ACADEMY OF ENGINEERING

МЕЖДУНАРОДНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ
РОССИЙСКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ

XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC FORUM «AIMS FOR FUTURE OF ENGINEERING SCIENCE»

COLLECTION OF ARTICLES

XIV МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНОЙ НАУКИ»

СБОРНИК СТАТЕЙ

Ответственный редактор Федорова Н.Е.
Компьютерная верстка Федорова Н.Е.

Подписано в печать 03.04.23 Формат бумаги 60x84/16
Бумага множ. Усл.печ.л. 57,75 Заказ №01-Д/23 Тираж 100

ООО «Инженерный центр «Импульс»
info-rae@mail.ru

Отпечатано в РИО ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»